

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA UNA EMPRESA DEL SECTOR DE
MATERIALES COMPUESTOS

CATALINA BOTERO VELÁSQUEZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2010

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA UNA EMPRESA DEL SECTOR DE
MATERIALES COMPUESTOS

CATALINA BOTERO VELÁSQUEZ

Trabajo de grado para lograr el Título de Ingeniero Mecánico

Asesor

LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2010

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis maestros de la vida por todos los conocimientos que me han transmitido, especialmente a aquellos que me abrieron una ventana de posibilidades en el mundo del mantenimiento e hicieron que me atrajera este campo de acción. A Luis Alberto Mora por su asesoría durante la planeación y elaboración del proyecto.

A mi familia por darme una carrera profesional y tanto apoyo en cada etapa de la vida.

A Gian Paolo Montoya, Juliana Londoño y Juan David Venegas por el apoyo técnico y moral permanente para la culminación de este proyecto de grado.

A la empresa donde laboro por los retos que me ha puesto, las oportunidades y la confianza que me ha brindado.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	11
1. OBJETIVOS	13
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.2.1. Objetivo 1.	13
1.2.2. Objetivo 2.	13
1.2.3. Objetivo 3.	13
1.2.4. Objetivo 4.	13
1.2.5. Objetivo 5.	13
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	14
3. METODOLOGÍA EMPLEADA	15
4. ACERCAMIENTO A UN PLAN DE MEJORAS	16
4.1. DEFINICIÓN DE UN PLAN DE MEJORAS.....	16
4.2. CONTENIDO DEL PLAN DE MEJORAS	16
5. ACERCAMIENTO A LA GESTIÓN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO	19
5.1. FUNCIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	21
5.2. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN	22
5.2.1. Análisis de la situación y recursos disponibles.....	22
5.2.2. Fijación de resultados.....	23
5.2.3. Planificación y ejecución.	23
5.2.4. Control de los resultados.....	23
6. PRINCIPALES FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO.....	24
6.1. LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO	24
6.1.1. Conceptos generales.	24
6.1.2. Revisión exhaustiva.	25
6.2. NIVELES DE MANTENIMIENTO	29
6.2.1. Conceptos generales.	29
6.2.1.1. Nivel instrumental.....	30
6.2.2. Revisión exhaustiva.	46

6.2.1.2. Nivel operacional.....	52
6.2.3. Revisión exhaustiva.	60
6.2.1.3. Nivel táctico.	64
6.2.4. Revisión exhaustiva.	71
6.2.1.4. Nivel estratégico.	72
6.2.5. Revisión exhaustiva.	83
7. REVISIÓN EXHAUSTIVA DEL NIVEL DE MANTENIMIENTO	86
7.1. IMPLEMENTACIÓN	86
7.2. RESULTADOS	87
8. REVISIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA <i>FLASH AUDIT</i>	89
8.1. IMPLEMENTACIÓN	89
8.2. RESULTADOS.....	90
9. ASUNTOS DE POTENCIAL IMPORTANCIA: API'S.....	98
10. PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO.....	102
11. CONCLUSIONES.....	114
12. RECOMENDACIONES	117
13. BIBLIOGRAFIA	118
14. ANEXOS	122

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Formato para la presentación del plan de mejoras	18
Tabla 2. Revisión exhaustiva de la estructura organizacional y del organigrama de la empresa	26
Tabla 3. Revisión exhaustiva de la organización y los objetivos del proceso de mantenimiento	27
Tabla 4. El significado de las 5's	36
Tabla 5. Áreas y tópicos que cubre y diagnostica el <i>Flash Audit</i>	44
Tabla 6. Tabla de resultados del <i>Flash Audit</i>	45
Tabla 7. Revisión exhaustiva del elemento sistema de información	46
Tabla 8. Revisión exhaustiva del recurso humano.....	47
Tabla 9. Revisión exhaustiva de las herramientas, los repuestos e insumos	48
Tabla 10. Revisión exhaustiva del capital de trabajo, espacio físico, tecnología y maquinaria.....	49
Tabla 11. Revisión exhaustiva de los elemento 5's y mejora continua	50
Tabla 12. Revisión exhaustiva de análisis de fallas, <i>RCFA</i> , <i>FMECA</i> y <i>RPN</i>	50
Tabla 13. Revisión exhaustiva de la gestión y el manejo de inventarios, repuestos e insumos de mantenimiento	51
Tabla 14. Revisión exhaustiva de la subcontratación	52
Tabla 15. Criterios para la elaboración del código de máquina	57
Tabla 16. Criterios para la elaboración del código de trabajo	57
Tabla 17. Puntuación para la valoración de la criticidad de los equipos	58
Tabla 18. Revisión exhaustiva de las acciones correctivas	61
Tabla 19. Revisión exhaustiva de las acciones modificativas	62
Tabla 20. Revisión exhaustiva de las acciones preventivas	63
Tabla 21. Revisión exhaustiva de acciones predictivas	64
Tabla 22. Revisión exhaustiva de las tácticas de mantenimiento	72
Tabla 23. Cuadro comparativo de disponibilidades.....	76
Tabla 24. Revisión exhaustiva de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.....	83

Tabla 25. Revisión exhaustiva de costos fijos, variables, financieros, de no disponibilidad de equipos e integral	84
Tabla 26. Revisión exhaustiva de indicadores, terotecnología y gestión de activos	85
Tabla 27. Resumen de resultados de la revisión exhaustiva	88
Tabla 28. Lista de personas auditadas en el <i>Flash Audit</i>	90
Tabla 29. Resultados del <i>Flash Audit</i> para Mantenimiento 1 y 4	91
Tabla 30. Resultados del <i>Flash Audit</i> para Mantenimiento 2	92
Tabla 31. Resultados del <i>Flash Audit</i> para Mantenimiento 3	92
Tabla 32. Resultados del <i>Flash Audit</i> para Producción 1 y 4.....	93
Tabla 33. Resultados del <i>Flash Audit</i> para Producción 2.....	93
Tabla 34. Resultados del <i>Flash Audit</i> para Producción 3.....	94
Tabla 35. Resultados del <i>Flash Audit</i> para Gerencia 1 y 3	94
Tabla 36. Resultados del <i>Flash Audit</i> para Gerencia 2 y 4	95
Tabla 37. Resultados totales del <i>Flash Audit</i>	96
Tabla 38. Resultados del instrumento No. 5 - Conocimiento de los costos de mantenimiento	99
Tabla 39. Resultados del instrumento No. 4 - Conocimiento de la disponibilidad de los equipos.....	100
Tabla 40. Resultados del instrumento No. 1 - Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mtto.).....	101
Tabla 41. Resultados del instrumento No. 12 – Entrenamiento	101
Tabla 42. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de los costos de mantenimiento - parte I	103
Tabla 43. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de los costos de mantenimiento - parte II	104
Tabla 44. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de los costos de mantenimiento - parte III	105
Tabla 45. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de la disponibilidad de los equipos - parte I.....	106
Tabla 46. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de la disponibilidad de los equipos - parte II.....	107
Tabla 47. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de la disponibilidad de los equipos - parte III.....	108

Tabla 48. Plan de mejoras de mantenimiento para la relación entre Mantenimiento (cliente) y Producción - parte I	109
Tabla 49. Plan de mejoras de mantenimiento para la relación entre Mantenimiento (cliente) y Producción - parte II	110
Tabla 50. Plan de mejoras de mantenimiento para el entrenamiento – parte I.....	111
Tabla 51. Plan de mejoras de mantenimiento para el entrenamiento – parte II.....	112
Tabla 52. Plan de mejoras de mantenimiento para el estudio y la eliminación de las fallas y su causa raíz	113

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de la metodología del proyecto	15
Figura 2. Diagrama de bloques del plan maestro.....	22
Figura 3. Documentos de la estructura organizacional	24
Figura 4. Organigrama interno de mantenimiento.....	28
Figura 5. Objetivos del proceso de mantenimiento	29
Figura 6. Esquema general de los elementos del nivel instrumental	31
Figura 7. Procesos de mejora continua en el tiempo, basados en las 5's	36
Figura 8. Ejemplo de clasificación de las causas de fallas.....	39
Figura 9. Radar de resultados del <i>Flash Audit</i>	45
Figura 10. Esquema general de los elementos del nivel operacional	53
Figura 11. Situaciones de las acciones preventivas.....	55
Figura 12. Situaciones de las acciones predictivas.....	59
Figura 13. Esquema general de los elementos del nivel táctico	65
Figura 14. Pilares del <i>TPM</i>	67
Figura 15. Siete preguntas del <i>RCM</i>	68
Figura 16. Esquema general de los elementos del nivel estratégico	73
Figura 17. Costos de la no disponibilidad por falla.....	80
Figura 18. Indicadores para la dirección y operativos	82
Figura 19. Formato para la revisión exhaustiva	87
Figura 20. Esquema general de la auditoría	89
Figura 21. Radar de resultados del <i>Flash Audit</i>	97
Figura 22. Asuntos de potencial importancia	98
Figura 23. Metodología para el plan de mejoras de mantenimiento	102

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Resumen mensual de los costos de mantenimiento	122
Anexo B. Medición de la criticidad de los equipos	123
Anexo C. Clasificación ABC de inventarios.....	123
Anexo D. Árbol de lógica metodología <i>RCFA</i>	124
Anexo E. Registro de fallas y modos de fallas	124
Anexo F. Formato para la medición de tiempos para trabajos de mantenimiento	125
Anexo G. Formato para el inventario documental de mantenimiento	125

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es el conjunto de condiciones técnicas, herramientas y acciones que garantizan la máxima disponibilidad y confiabilidad del parque industrial durante el tiempo de operación requerido, en el momento oportuno, al menor costo posible (Mora, 2007b), con la máxima seguridad, calidad y la mínima degradación del medio ambiente (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

El desarrollo actual de la industria cambia totalmente el concepto de mantenimiento, al tener la necesidad del mismo y la de tecnificarse al máximo para buscar nuevas formas en su organización. Éste se considera hasta no hace mucho más de 25 años como una actividad auxiliar cuyo coste siempre parece excesivo; ahora pasa a ser parte integrante del proceso productivo y se acepta como un costo necesario de fabricación (Rey, 1996).

El departamento de mantenimiento ocupa un lugar de importancia en la estructura de la empresa del sector de materiales compuestos, y hace una búsqueda constante de evolución para mejorar su desempeño y lograr una gestión integral. Los costos actuales de mantenimiento de la empresa se estiman en un 22% anual¹.

Este proyecto presenta un plan de mejoras de mantenimiento para la empresa que le permite establecer parámetros, metodologías, estrategias o políticas que le ayuden al fortalecimiento del proceso, a responder ante los cambios que presenta su entorno, a la formación de los niveles de mantenimiento, a cumplir con sus objetivos y aportar a la competitividad global de la empresa, lo cual se resume en la gestión integral del mantenimiento.

Inicialmente, se hace un acercamiento a un plan de mejoras, donde se describe qué va a contener el plan a desarrollarse, y a la gestión integral de mantenimiento, la cual es el foco de este proyecto.

¹ Esta información se obtiene de la Caracterización del proceso de mantenimiento de la empresa, 2009.

Seguidamente, se identifican los principales fundamentos de mantenimiento con el fin de tener las bases para el diagnóstico de la situación general de este proceso en la empresa. Debido a que la empresa se encuentra en proceso de certificación ISO 9000, el departamento de mantenimiento, como se le ha llamado siempre, se conoce ahora como proceso de mantenimiento.

A medida que se identifican los principales fundamentos, se realiza la revisión exhaustiva para evaluar la situación actual de los distintos aspectos de la gestión y operación del mantenimiento en la empresa. Posteriormente, se implementa la metodología *Flash Audit* para evaluar todas las actividades que se desarrollan en función del mantenimiento, con el objetivo de identificar áreas potenciales de mejora y recomendar un plan a seguir para cada uno de los puntos identificados y lograr un modelo de gestión funcional y productivo.

Finalmente, a partir de los resultados que se obtienen en la revisión exhaustiva y en el *Flash Audit*, se identifican los asuntos de potencial importancia y se desarrollan los planes de mejora ajustados a las necesidades de la empresa, para organizar la gestión del mantenimiento a mediano plazo, teniendo en cuenta los elementos integrantes de un plan de mejoras, los recursos humanos y materiales disponibles.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Crear un plan de mejoras de mantenimiento para una empresa del sector de materiales compuestos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1. Objetivo 1. Identificar los principales fundamentos de mantenimiento para diagnosticar la situación general de la empresa. Nivel 1 – Conocer.

1.2.2. Objetivo 2. Reconocer el estado de los niveles de mantenimiento instrumental, operacional, táctico y estratégico dentro la empresa, a partir de la revisión de cada uno de los criterios, mediante la utilización de la metodología *Flash Audit*. Nivel 2 – Comprender.

1.2.3. Objetivo 3. Emplear un proceso de revisión exhaustivo para evaluar la situación actual de los distintos aspectos de la gestión y operación del mantenimiento en la empresa. Nivel 3 – Aplicar.

1.2.4. Objetivo 4. Analizar los Asuntos de Potencial Importancia (API's) con el fin de crear un plan de mejoras para organizar la gestión del mantenimiento a mediano plazo. Nivel 4 – Analizar y sintetizar.

1.2.5. Objetivo 5. Concluir los principales logros.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa a la cual está dirigido este proyecto, pertenece al sector manufacturero y se dedica a la fabricación de productos en fibra de vidrio para el sector de seguridad industrial, sus principales productos son las punteras para el calzado de seguridad y los anillos y hebillas para arneses de seguridad.

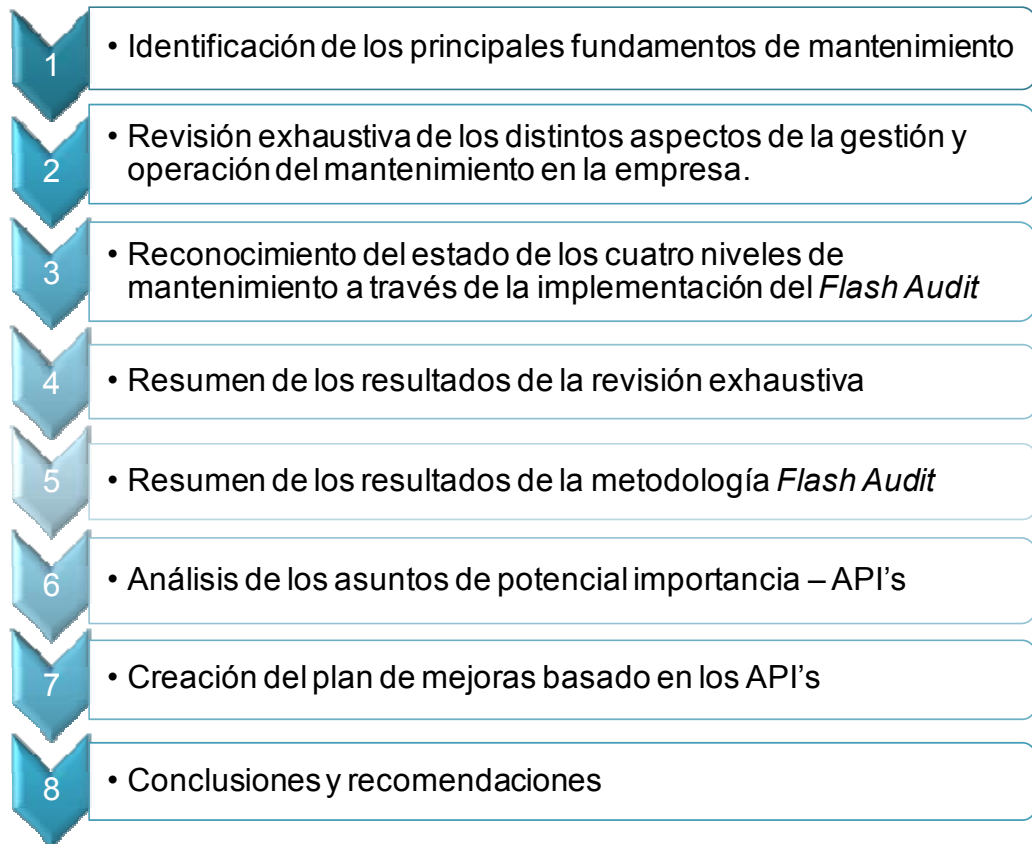
Nació como un proyecto de investigación en octubre de 2003, con capital colombiano a fin de desarrollar nuevas metodologías en el manejo de materiales compuestos en la fabricación de punteras no metálicas para calzado de seguridad. A nivel nacional, es pionera en el proceso de inyección de resina por molde Cerrado o *RTM Ligth* para la fabricación de productos en plástico reforzado con fibra de vidrio.

En los últimos dos años, la empresa ha ido automatizando su proceso productivo y en los próximos dos años planea aumentar su capacidad en un 60% con la adquisición de maquinaria de alta tecnología y a través de la integración vertical de la producción.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto se basa en nueve etapas, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Esquema de la metodología del proyecto



Fuente: elaboración propia

4. ACERCAMIENTO A UN PLAN DE MEJORAS

4.1. DEFINICIÓN DE UN PLAN DE MEJORAS

Al conjunto de programas y proyectos relacionados entre sí y conducentes a un objetivo común, se le conoce como plan. Es también un conjunto armónico de actividades para lograr un resultado concreto (Aristizábal Salazar, Sánchez, & Ramírez, 2005).

El plan de mejoras es un instrumento que permite identificar y jerarquizar las acciones factibles para subsanar las principales debilidades. Constituye un documento o instrumento dinámico sujeto a modificaciones que contempla en forma ordenada y coherente las metas, estrategias, políticas, directrices y tácticas en tiempo y espacio, así como los instrumentos, mecanismos y acciones que se utilizarán para llegar a los fines deseados, además de los métodos de evaluación periódica de sus resultados².

La implementación del plan requiere el respaldo y el compromiso de todos los responsables. Adicional a servir de guía para la organización de los aspectos a mejorar, debe permitir el control y seguimiento de las diferentes acciones a desarrollar.

Un plan elaborado de una manera organizada, que prioriza y planifica las acciones de mejora, y que asegura su implementación y seguimiento, garantiza el incremento de la calidad de la gestión del mantenimiento para que sea claramente percibida por los demás procesos que se relacionan y por la empresa en general

4.2. CONTENIDO DEL PLAN DE MEJORAS

El plan de mejoras a desarrollar contiene las falencias dentro del proceso, las acciones de mejora, la jerarquía para las acciones de mejora, las tareas a realizar dentro de cada acción correctiva y de mejora, el personal involucrado, la proyección para la ejecución, los recursos necesarios, indicadores para el seguimiento y un responsable del seguimiento.

² Definición obtenida desde una página de internet: Definición.org/plan.

El seguimiento de cada indicador y de los resultados está a cargo del director(a) del proceso de Mantenimiento en la empresa. Algunos de estos componentes se describen a continuación.

- Punto débil o aspecto a mejorar: aspecto que limita o reduce la capacidad de desarrollo efectivo de la gestión de mantenimiento, a este se le establecen las acciones de mejora.
- Acción correctiva, preventiva y de mejora: la acción correctiva y preventiva ayuda a eliminar la falencia y su causa raíz y a prevenirla; mientras la acción de mejora es aquella que incrementa la capacidad del proceso para cumplir los objetivos y requisitos.
- Tareas: actividades puntuales que deben realizarse para cumplir la acción enunciada. A cada tarea se le asigna un responsable y un grupo de tareas satisfacen una acción. En general son actuaciones humanas que consumen tiempo y recursos, y conducen a generar un resultado concreto en un plazo determinado. Son finitas aunque pueden ser repetitivas, una misma tarea puede aparecer como componente de diferentes acciones.
- Personal involucrado: grupo humano o individuos a quienes compete la realización de las acciones en virtud de las actividades a su cargo. Pueden ser especificadas de dos formas: unidades organizativas o funcionarios.
- Plazo requerido para su implementación: es importante tener en cuenta que hay acciones de mejora cuyo alcance está totalmente definido y no suponen un esfuerzo excesivo, por lo que pueden realizarse de forma inmediata o a corto plazo. Por otro lado, existirán acciones que necesiten la realización de actividades previas o de un mayor tiempo de implementación. En general, puede estimarse al considerar los tiempos de duración de las tareas que componen la acción. Los planes a largo plazo se proyectan de tres a diez años en el futuro, los planes a corto-mediano plazo abarcan un período de uno a tres años, y los planes a término corto-inmediato abarcan períodos mensuales y trimestrales.

- Recursos: medios disponibles para efectuar las actividades planeadas. De manera general se identifican seis tipos: humanos, financieros, materiales, mobiliario y equipo, planta física y tiempo.

- Método de evaluación o seguimiento: mecanismo para evaluar periódicamente el cumplimiento del plan, observando si las acciones se realizan de la manera planeada y si dan los resultados que se esperan (Aristizábal Salazar, Sánchez, & Ramírez, 2005). La definición de objetivos específicos está acompañada de indicadores o medidores de seguimiento que describen mediciones cualitativas o cuantitativas e indican los resultados o impactos esperados a causa del logro de un objetivo.

A continuación se presenta el formato para la elaboración y presentación del plan de mejoras de mantenimiento que se propone para la empresa. Ver tabla 1.

Tabla 1. Formato para la presentación del plan de mejoras

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO						
1	Punto débil o aspecto a mejorar:					
	Acción correctiva, preventiva o de mejora:					
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento
			C	M		
1.1						
1.2						
1.3						
1.4						
1.5						

C: corto plazo M: mediano plazo

Fuente: elaboración propia.

5. ACERCAMIENTO A LA GESTIÓN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO

Los principales fundamentos de mantenimiento involucran la gestión integral, la cual es la base para el enfoque del plan de mejoras. El diccionario de la Real Academia de Lengua Española, en su vigésima segunda edición, define la acción de gestionar como hacer diligencias conducentes al logro de un negocio o de un deseo cualquiera.

“El concepto integral se maneja desde la base de utilizar de forma eficaz y eficiente los factores productivos en forma individual y conjunta, para aplicarlos mediante una adecuada gestión de mantenimiento, con la definición de metas concretas a lograr en cada una de las variables importantes de mantenimiento, al utilizar el concepto de servicio al cliente, para centrar la organización en el desarrollo de habilidades y competencias esenciales en el recurso humano motivado, para satisfacer los requerimientos del usuario de mantenimiento interno y externo” (Mora, 2009).

La situación actual y futura del entorno de cualquier empresa presenta cambios cada vez más fuertes como son el incremento creciente de la competitividad, la disminución del ciclo de vida del producto, la necesidad de polivalencia y flexibilidad del proceso, la «excelencia» en el servicio, la fabricación sincronizada, entre otros.

Las organizaciones deben evolucionar hacia la creación de equipos multidisciplinarios que gestionen la mejora del dominio del proceso, con el fin de afrontar los cambios que se presentan.

Las atribuciones, para el caso específico de mantenimiento, no pueden limitarse a la reparación de la instalación. La interrelación con los otros departamentos, o procesos como se les denomina hoy en día, y tener un enfoque en todos los aspectos que, de una u otra manera, pasan por sus manos y que influyen sobre el desarrollo de la empresa, es imprescindible para poder desarrollar una gestión integral de mantenimiento.

“La gestión integral de mantenimiento consiste en actuar en todos aquellos aspectos de importancia para el buen desarrollo de la empresa y que, de una u otra manera, se

relacionan con el mantenimiento de las instalaciones. Se trata por tanto de gestionar de una manera activa basándose en los objetivos de la empresa, y no sólo en los objetivos tradicionales de mantenimiento, disponibilidad y coste, admitiendo una postura pasiva” (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

Para comprender la importancia de la gestión, es importante entender algunos conceptos que se involucran: la organización, la dirección y el control.

- Organización: la organización, según Robbins y Coulter (2005), hace referencia a la función de la administración que consiste en determinar qué tareas hay que hacer, quién las hace, cómo se agrupan, quién rinde cuentas a quién y dónde se toman las decisiones.
- Dirección: la dirección, según Koontz y Weihrich (2004), se encarga de influir en las personas para que contribuyan a la organización y a las metas de grupo; Robbins y Coulter (2005) complementan afirmando que es función de la administración consistente en motivar a los subordinados, influir en los individuos y los equipos mientras hacen su trabajo, elegir el mejor canal de comunicación y ocuparse de cualquiera otra manera del comportamiento de los empleados; esta actividad hace referencia al contacto y especialmente a la comunicación entre la alta gerencia y los empleados de tal forma que se puedan llevar a cabo las actividades planeadas y organizadas.
- Control: el control es la función de medir y corregir el desempeño individual y organizacional para garantizar que los hechos se apeguen a los planes (Koontz y Weihrich, 2004). Robbins y Coulter (2005) afirman que es una función de la administración que consiste en vigilar el desempeño actual, compararlo con una norma y emprender las acciones que falten, es decir, el control es un proceso que le permite a la administración evidenciar que las actividades que se ejecutan corresponden fielmente a las planificadas y que por tanto se encuentran acordes con los objetivos de la organización.

A nivel de las actividades de planificación, organización, dirección y control, se encuentra involucrada la toma de decisiones en las diferentes escalas: estratégica, táctica y operativa (Riascos Erazo, 2008).

5.1. FUNCIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

La función de la gestión de mantenimiento es proveer un sistema que planifique, organice, dirija, controle y administre todas las actividades inherentes al mantenimiento a la vez que debe permitir un negocio eficaz, fiable, ágil, capaz de responder a las necesidades de producción, que procure la competitividad y la productividad de la empresa y tenga activa participación de sus empleados (Reiter & Lorick, 1994).

La gestión integral de mantenimiento se divide en dos líneas o grupos; la primera corresponde a la gestión que relaciona mantenimiento con el resto de los procesos y los objetivos de la empresa; la segunda, es la gestión integral propia del proceso. En esta última, se debe buscar el punto de mínimo coste integral y adecuar los medios para mantenerse en ese punto.

Existen tres elementos vitales dentro de la gestión integral del mantenimiento:

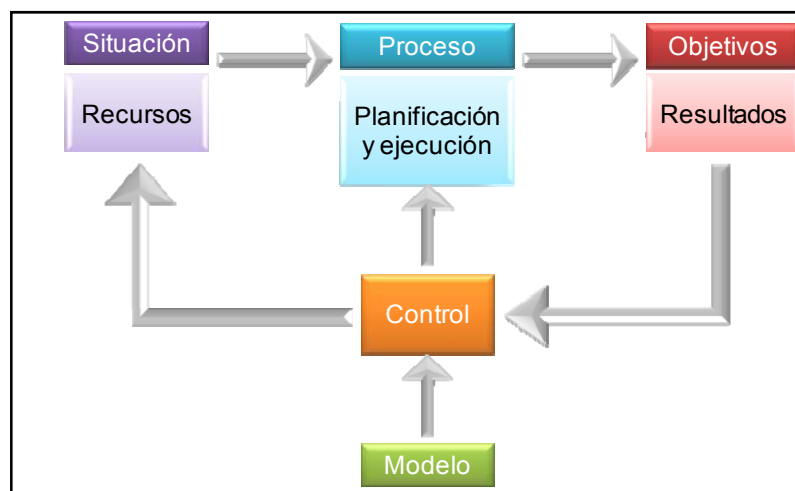
- Eficacia. Grado en que se logran los objetivos y metas de un plan, es decir, cuánto de los resultados esperados se alcanzó. La eficacia consiste en concentrar los esfuerzos de una entidad en las actividades y procesos que realmente deben llevarse a cabo para el cumplimiento de los objetivos formulados.
- Eficiencia. Es el logro de un objetivo al menor costo unitario posible. En este caso se busca un uso óptimo de los recursos disponibles para lograr los objetivos deseados.
- Efectividad. Este concepto involucra la eficiencia y la eficacia, es decir, el logro de los resultados programados en el tiempo y con los costos más bajos (razonables) posibles (Mora, 2009).

La eficacia, eficiencia y efectividad del plan maestro se mide por medio de indicadores para la dirección, la gestión operativa y para mantenimiento (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

5.2. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN

La implementación de la gestión integral de mantenimiento en una empresa tiene como tarea principal la definición de un plan maestro de actuación. Este plan maestro debe guardar coherencia con el plan estratégico de la empresa, relacionando los distintos parámetros para trabajar en un objetivo común. La figura 2 representa de forma esquemática el diagrama de bloques del proceso general del plan maestro.

Figura 2. Diagrama de bloques del plan maestro



Fuente: (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997)

5.2.1. Análisis de la situación y recursos disponibles. La primera etapa del plan consiste en un análisis de la empresa y en su entorno, las características de funcionamiento, la organización, etc. Se trata de establecer un punto de partida con el máximo conocimiento posible de la situación desde el punto de vista concreto de mantenimiento interesa conocer la instalación y sus características particulares. Así mismo, interesa descubrir las posibilidades de mejora que no se están aplicando.

El tipo de industria se debe estudiar desde diferentes aspectos, como lo son, entre otros, la ubicación geográfica y distribución, la política general de la empresa, la normativa legal vigente y aplicable, el recurso humano disponible, la jornada de trabajo, el tamaño de la empresa, el tipo de proceso, el ritmo de actividad, el grado de automatización, la inversión en maquinaria, la antigüedad y estado de la instalación, el análisis de los equipos, el análisis del proceso de mantenimiento, la gestión de repuestos y materiales.

5.2.2. Fijación de resultados. Una vez se analiza el punto de partida y los recursos con que se disponen se definen los objetivos que se desean cumplir con la gestión integral del mantenimiento. Los objetivos que se marquen deben ser los más reales y concreto posible, no es conveniente fijar grandes objetivos, sino avanzar y asegurar cada uno de los logros que se adquieren.

5.2.3. Planificación y ejecución. La planificación se refiere a la gestión de los recursos disponibles para alcanzar los objetivos, la cual debe realizarse con un aprovechamiento máximo de los mismos. Una vez se fijan el punto de partida, el destino y la planificación, se da paso a la ejecución de las tareas que permiten alcanzar los resultados que se quieren obtener.

5.2.4. Control de los resultados. La última etapa de la implementación de la gestión integral de mantenimiento establece los mecanismos de medida que permiten evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos marcados. Este control se debe realizar en comparación a un modelo prefijado; cuanto más concreto, especificado y simple sea éste, más fácil se determina el grado de cumplimiento de los objetivos.

6. PRINCIPALES FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO

6.1. LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

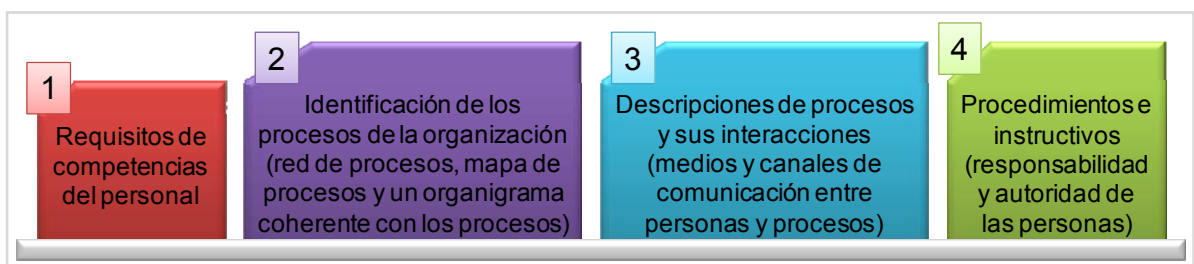
6.1.1. Conceptos generales. La identificación de la organización del mantenimiento en la empresa es primordial antes de comenzar a revisar cada uno de los cuatro niveles del mantenimiento del enfoque sistémico kantiano (instrumental, operacional, táctico y estratégico) que se tratan más adelante.

A continuación se define la estructura organizacional y posteriormente, se hace la revisión exhaustiva de ésta en la empresa y en el proceso de mantenimiento.

El autor Francisco José López Carrizosa, en su libro ISO 9000 y la planificación de la calidad, presenta la definición de la estructura o diseño organizacional como *“el proceso de diagnosticar y seleccionar la estructura y el sistema formal de comunicación, división del trabajo, coordinación, control, autoridad y responsabilidad necesarios para alcanzar las metas de la organización”*. Según Hellriegel, Slocum & Woodman, consiste en determinar el diseño de puestos de trabajo, el lugar, el producto y las interacciones.

El resultado del diseño de la estructura organizacional se evidencia en los cuatro documentos que se mencionan en la figura 3.

Figura 3. Documentos de la estructura organizacional



Fuente: (López Carrizosa, 2006).

- Estructura organizacional: la estructura organizacional de la empresa se puede clasificar de tipo burocrática profesional, seccionada en dos gerencias: hay un gerente técnico que trabaja con gente experta en áreas específicas como producción, mantenimiento, verificación técnica, investigación y desarrollo y automatización y control; mientras que el gerente administrativo trabaja con un equipo de expertos en áreas de administración, contabilidad, finanzas, sistemas, mercadeo y ventas. Este tipo de estructura implica la toma de decisiones, acciones, la elaboración de propuestas y metodologías de mejora.
- El organigrama de mantenimiento: el mantenimiento se considera como una función dentro de las empresas gracias a la importancia que tiene en los sistemas productivos. El conocimiento del lugar que ocupa el servicio de mantenimiento en el organigrama de la empresa y la estructura interna de mantenimiento son indispensables para una buena gestión.

Existen distintas formas de organización del mantenimiento dentro del organigrama de una empresa, como por ejemplo, cuando mantenimiento depende de la dirección de la producción o de la dirección de la empresa. Algunas empresas no tienen proceso de mantenimiento dentro de su empresa, sino que este servicio es completamente subcontratado (Rey, 1996); este es el caso de algunas entidades bancarias.

6.1.2. Revisión exhaustiva. Las tablas 2 y 3 presentan la revisión exhaustiva de la estructura organizacional y del organigrama de la empresa, y de la organización y los objetivos del proceso de mantenimiento.

Tabla 2. Revisión exhaustiva de la estructura organizacional y del organigrama de la empresa

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Estructura organizacional y organigrama de la empresa		
1. Fase o etapa:	<input checked="" type="checkbox"/> Desarrollo	<input type="checkbox"/> Implementación	<input type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input checked="" type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:			
<p>La empresa tiene clara su estructura organizacional y establecidos los cargos de las personas y su papel dentro de ella, pero no siempre, por estar establecido, se ejecuta como tal. Algunas veces hay confusión de las labores de cada quien y se asignan tareas a personas de un proceso, cuando en realidad lo deben realizar otras personas de ese mismo proceso o de otro.</p> <p>El organigrama general de la empresa no existe y el personal debe trabajar prontamente en este tema, pues este refleja, en forma esquemática, la posición de los procesos que la integran, sus niveles jerárquicos, líneas de autoridad y de asesoría y la forma en que cada uno de ellos se relaciona. Además, informa a todo el personal sobre la estructura organizacional y es de gran utilidad para la introducción de nuevo personal. Este debe hacerse, entenderse, analizarse y actualizarse, además de publicarlo y ubicarlo en un punto estratégico de la planta física para que todo el personal tenga acceso a él. Por otro lado, la empresa cuenta con un mapa de procesos donde se muestra su relación.</p> <p>La comunicación entre el personal y la gerencia técnica es fluido y constante, se procura trabajar en equipo y se han obtenido buenos resultados. Sin embargo, la comunicación entre el personal de la gerencia administrativa, tanto interna como con la gerencia técnica no tiene una línea definida y organizada, ha habido muchos inconvenientes por la desinformación, y se le suma que cada gerencia tiene una sede diferente, lo cual dificulta la comunicación rápida y directa.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué?			
<div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>			

Fuente: elaboración propia

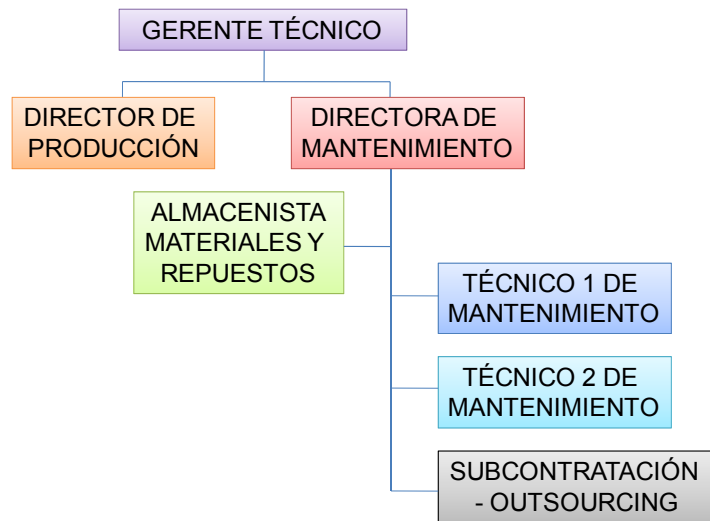
Tabla 3. Revisión exhaustiva de la organización y los objetivos del proceso de mantenimiento

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Organización y objetivos del proceso de mantenimiento		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input checked="" type="checkbox"/> Implementación	<input type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input checked="" type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:			
<p>La empresa considera a mantenimiento como un proceso cuyas entradas y salidas interactúan con los demás procesos de la empresa. Su estructura organizacional interna es vertical y sencilla, con los empleados necesarios para las labores de mantenimiento, donde la mano de obra corresponde con el organigrama y cada posición de la jerarquía con el trabajo real.</p> <p>En el organigrama se observa que mantenimiento y producción trabajan bajo la misma gerencia en un mismo nivel de jerarquía, donde mantenimiento es un proceso de apoyo que no depende directamente de producción. Mantenimiento acompaña a los demás procesos y a cada uno de sus activos durante su funcionamiento para asegurarse de mantener su funcionalidad y prolongar su vida útil.</p> <p>La ejecución de los mantenimientos la realizan dos técnicos, uno mecánico y el otro electromecánico, a quienes se les asignan las tareas de acuerdo a sus habilidades, competencias y estimación de la carga laboral. El técnico número dos, además, es el encargado del manejo del almacén de repuestos y materiales de mantenimiento; mientras que el técnico número uno es quien administra la herramienta y el taller de mantenimiento</p> <p>La gerencia considera a mantenimiento un proceso necesario dentro de su empresa, el cual le ayuda a lograr los objetivos de funcionamiento, a mantener la disponibilidad de los equipos, a mejorar la seguridad industrial y el entorno de trabajo y la calidad de los productos; por lo anterior, categoriza a este proceso como eficiente y provechoso para la empresa. Debido a que no se conocen los costos de mantenimiento en detalle, no es posible hacer un balance entre productividad y costos de mantenimiento y afirmar que estos están justificados.</p> <p>Actualmente, no se tienen indicadores que permitan evaluar el cumplimiento de cada objetivo. Es fundamental que el proceso de mantenimiento los establezca prontamente para comenzar su medición y posteriormente hacer la evaluación de su cumplimiento. Cada objetivo se debe alcanzar y asegurar, antes de emprender la búsqueda de otro nuevo.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué?			
<div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>			

Fuente: elaboración propia

La figura 4 representa el organigrama interno del proceso de mantenimiento de la empresa³.

Figura 4. Organigrama interno de mantenimiento

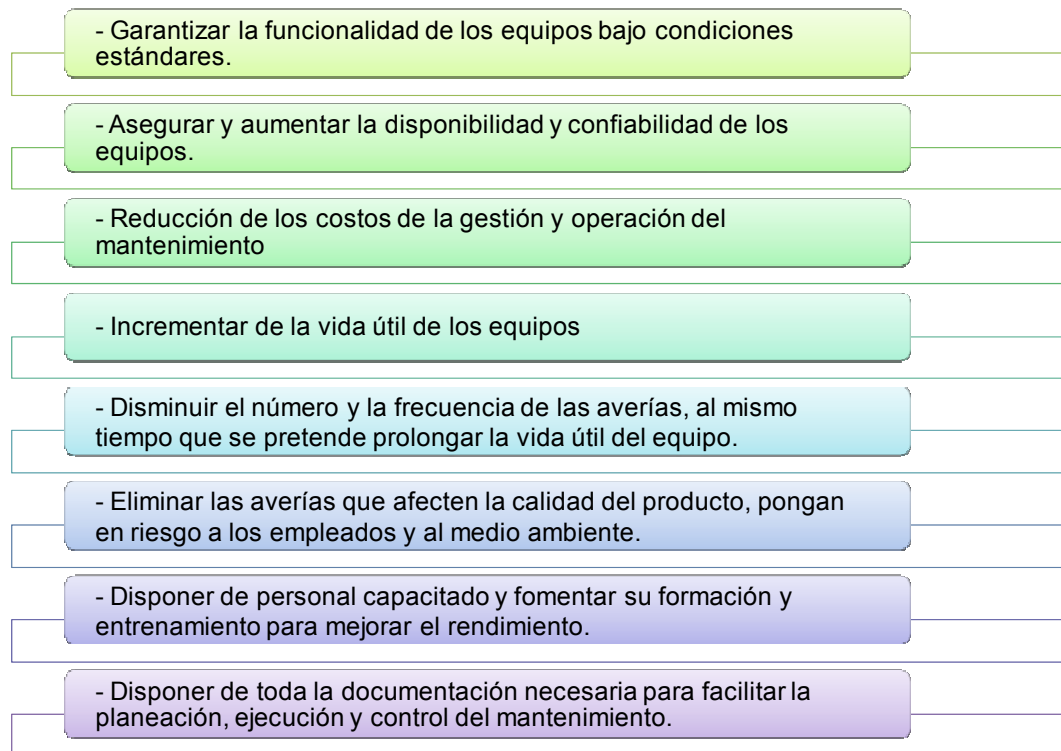


Los objetivos del proceso de mantenimiento son acordes con los objetivos generales de la empresa y están orientados a apoyar, en gestión y operación, no sólo a la producción, sino a todos los procesos que requieren de sus servicios.

La figura 5 presenta los ocho objetivos que tiene establecidos el proceso de mantenimiento en la empresa.

³ Esta información se obtiene de la Caracterización del proceso de mantenimiento de la empresa, 2009.

Figura 5. Objetivos del proceso de mantenimiento



6.2. NIVELES DE MANTENIMIENTO

6.2.1. Conceptos generales. Los últimos estudios del autor Mora proponen planear, ejecutar, coordinar y controlar de una manera muy efectiva todas las actividades, tareas y acciones propias de mantenimiento para el mejoramiento de la producción bajo un enfoque sistémico kantiano, el cual sigue conceptos modernos y rigurosos tanto científicos como prácticos.

El *enfoque sistémico kantiano* establece que el mantenimiento se divide en cuatro niveles, de forma ascendente: el instrumental, el operacional, el táctico y el estratégico; estos se desarrollan en empresas de servicios o producción. Cada empresa tiene la libertad de decidir por cuál nivel comenzar, sin embargo en muchas ocasiones, es necesario regresar

de nivel si al desarrollarse el siguiente se encuentra que se dejaron de implementar metodologías o técnicas fundamentales en el nivel anterior.

La mejor forma de implementar las metodologías de todos los niveles es desarrollar simultáneamente los cuatro desde el comienzo de la planeación estratégica, porque se puede mantener una revisión constante de todos estos de tal forma que haya una estructura lógica y coherente entre ellos.

6.2.1.1. Nivel instrumental. El nivel instrumental incluye los elementos reales que se requieren para el funcionamiento⁴ del área de mantenimiento, también administra la información en lo referente a las relaciones entre personas, recursos productivos y máquinas y se encuentran los recursos de AOD⁵ y de mantenimiento, así como los elementos necesarios para que exista un sistema de gestión y operación de mantenimiento en donde se incluyen todos los registros, documentos, historia, información, entre otros.

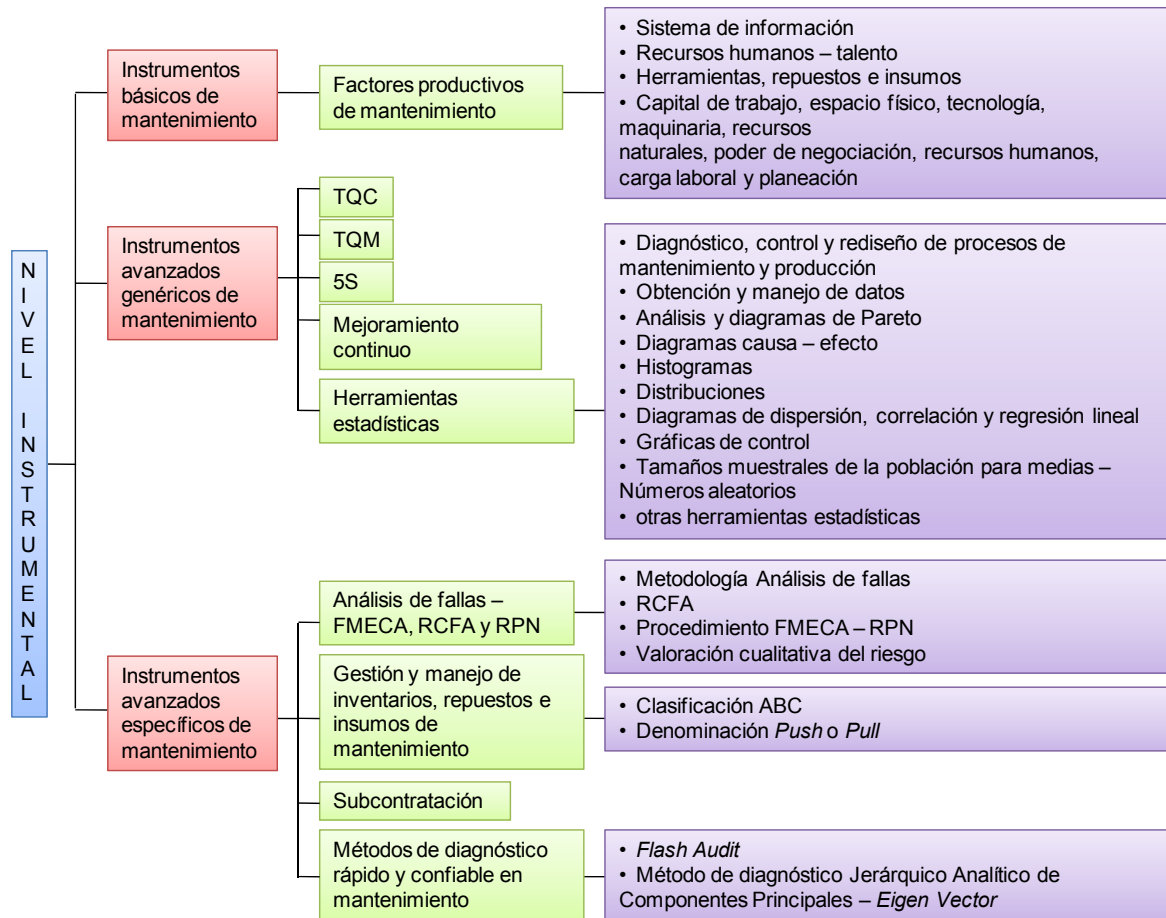
El nivel instrumental abarca todos los elementos básicos y avanzados (genéricos y específicos) de mantenimiento que se necesitan para llevar a cabo lo previsto para los niveles superiores.

La figura 6 presenta un esquema general con cada uno de los elementos a estudiar en este primer nivel.

⁴ Indiferente del grado de éxito que tenga, sólo que funcione.

⁵ AOD - Aprovechamiento Operación Distribución.

Figura 6. Esquema general de los elementos del nivel instrumental



Fuente: (Mora, 2009)

A continuación, se describen los instrumentos básicos de mantenimiento, los cuales comprenden los factores productivos de mantenimiento.

- Sistema de información: la información es el epicentro de mantenimiento y es necesaria para determinar todos los signos vitales que ocurren para consolidar una estrategia adecuada de mantenimiento. Esta está presente en los cuatro niveles del enfoque sistémico Kantiano apoyando al personal operativo, a los administradores de niveles bajos, a los administradores de nivel medio o intermedio y técnico profesionales y por último, a la alta dirección de la empresa.

El sistema de información es una herramienta de apoyo, que como conjunto, compendia todos los procesos, procedimientos y recursos que se involucran para mantener la organización en funcionamiento, con realimentación a través de su propia producción de información y a través de generación de información externa a ella, ejerciendo control de los parámetros vitales de la misma.

En mantenimiento se habla de un *CMMS*⁶. Sin embargo, hay empresas que manejan sistemas de información más complejos que involucran a otros procesos de la empresa, como el *EAM*⁷ y el *ERP*⁸ que los involucra a todos por completo, por ejemplo *SAP* y *JD Edwards*.

Un *CMMS* debe contener, entre otros, la información básica o infraestructura base: describe cómo es la empresa, la información de los activos u objetos de mantenimiento (equipos administrativos, infraestructura física, equipos de operación o servicio, otros), la gestión de repuestos y almacén, los programas de mantenimiento, las solicitudes de servicio, los registros de paros y averías, las órdenes de trabajo, el historial de mantenimiento, el registro y clasificación de los costos de mantenimiento y el presupuesto de mantenimiento (Pinilla, 2009).

- **Recurso humano:** el recurso humano en mantenimiento, desde la contratación hasta la asignación de tareas, es un factor de suma importancia porque determina parte del éxito de la gestión integral de éste. El estudio de la importancia de los trabajos de mantenimiento y su frecuencia, determinan la plantilla del recurso humano necesario de mantenimiento.

La contratación del personal de mantenimiento está ligada al tipo de empresa, a su planeación estratégica corporativa y a la actividad que desarrollen en ella. Desde este punto de vista, los gerentes definen qué profesionales expertos o con conocimientos en el área en mantenimiento requieren, y a su vez, los directores o jefes de mantenimiento establecen si requieren personal especializado en cada área o capacitar al personal con

⁶ *CMMS*⁶ (*Computerized Maintenance Management System*).

⁷ *EAM* (Enterprise Asstes Management)

⁸ *ERP* . (Enterprise Resources Planning)

el fin de volverlo polivalente. Por supuesto, también existe la posibilidad de la subcontratación.

Para una especialidad como la mecánica no sólo se busca profesionales capaces de mantener cualquier tipo de máquina, sino también que dispongan de conocimientos de otras especialidades como la electricidad o electrónica. Esta polivalencia viene apoyada incluso desde las escuelas de formación, en las que la especialidad electromecánica, electro neumática, entre otras, es una realidad.

La empresa debe fomentar el estudio, la capacitación y el entrenamiento de su personal de mantenimiento, bien sea para aprender o fortalecer el conocimiento. Cuanto mayor sea la formación, más capacitado va a estar el personal para tomar decisiones ante las situaciones que se le presenten; cuanto mejores profesionales se tengan para la realización de los trabajos, su desarrollo va a ser más eficaz.

La motivación del personal es fundamental para el buen desarrollo, entre los factores a utilizar, se encuentran: el reconocimiento, el logro, el trabajo en sí mismo, la responsabilidad, la promoción, el trabajo en equipo, los planes de incentivos, buenas condiciones de trabajo, la confianza, el apoyo de los superiores, entre otros (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

- Herramientas, repuestos e insumos: las herramientas, repuestos e insumos de mantenimiento son elementos básicos indispensables para la ejecución de las actividades de mantenimiento; ya que si alguno de estos no se tiene cuando se le requiere, produce retrasos, disminuye la disponibilidad y funcionalidad de los equipos, incrementa los costos por tiempos más largos y mano de obra en espera, además de los efectos negativos que trae consigo la urgencia y el afán.

Una buena gestión que desarrolle políticas de manejo de inventarios de repuestos e insumos de mantenimiento, permite a la empresa alcanzar ahorros superiores al treinta por ciento mensual en el capital destinado a ello (Mora, 2009). Los tres elementos deben conservarse en los almacenes en las condiciones ideales, con el fin de evitar daños por corrosión, desgaste por maltrato, alteración de las propiedades fisicoquímicas, entre otros.

Las herramientas que se usan en las tareas de mantenimiento deben ajustarse a las necesidades, permanecer en un lugar protegidas y limpias, estar bien marcadas para facilitar la identificación; en los casos en que las tareas requieran de herramienta más especializada o de instrumentos de medición como torquímetros, pies de rey, balanzas, etc., es vital que se mantengan calibrados y ajustados para garantizar la calidad y confiabilidad del trabajo.

Los propios fabricantes de los equipos, normalmente, proponen una serie de recambios para hacer frente a los mantenimientos; el valor de los recambios es aproximadamente entre un tres y un seis por ciento del valor total del equipo. El precio de los recambios debe tenerse en cuenta como factor para la decisión de compra de un equipo, puesto que en algunas ocasiones el precio total de las piezas de recambio supera el del equipo. Es claro que se pueden negociar algunos repuestos con la compra del equipo para obtener mejores precios.

- Capital de trabajo, espacio físico, tecnología, maquinaria, recursos naturales, poder de negociación, recursos humanos, carga laboral y planeación: estos son considerados factores básicos requeridos para lograr la función primaria del departamento de mantenimiento, tanto en empresas de servicio como de producción de bienes.

Capital de trabajo: comprende la asignación y administración de todos los recursos económicos que requiere el departamento de mantenimiento para su operación. Dentro de este factor se incluye el presupuesto, el cual se refiere a la planeación de los ingresos y los gastos para un periodo determinado.

Espacio físico: se refiere a la existencia de lugares o sitios designados para la ejecución de las reparaciones o actividades que no sean *in situ*, la fabricación de piezas y abastecimiento de sub-ensambles, el almacenamiento de repuestos, insumos y herramientas básicas y especializadas de mantenimiento, el entrenamiento; además de una oficina técnica y una biblioteca de mantenimiento (Mora, 2009).

Planeación: es una etapa que forma parte del proceso administrativo de mantenimiento, mediante la cual se plantean objetivos y definen metas, se establecen directrices y

estrategias que permitan la realización y alcance de las actividades de un trabajo o proyecto (Portafolio digital co, 2010).

Una vez descritos los instrumentos básicos del mantenimiento, se continúa con los instrumentos avanzados de mantenimiento; estos se clasifican en dos niveles: unos genéricos de aplicación ilimitada y otros específicos para usos más especiales. Estos instrumentos son las bases de algunas acciones y tácticas particulares de calidad en la operación del mantenimiento de los niveles operacional, táctico y estratégico, bajo el enfoque sistémico kantiano.

Instrumentos avanzados genéricos de mantenimiento. Comprende el *TQC*⁹, *TQM*¹⁰, las 5's, el mejoramiento continuo y las herramientas estadísticas; se abordan únicamente el *TQC*, las 5's y el mejoramiento continuo.

- *TQC*: el control de calidad total se entiende como la aplicación de los principios de gestión de calidad a todas las áreas de la empresa, desde diseño hasta despachos, en lugar de limitarse únicamente a las actividades de producción. Este concepto se le atribuye a Armand Val Feigenbaum, quien escribió, en 1951, el libro "*Total Quality Control*" y expresó: "*Quality is in its essence a way of managing the organization*" – "*La calidad es en su esencia una manera de gestionar la organización*" (The improvement Encyclopedia, 2002-2010).
- 5's: las 5's son una filosofía de trabajo y un instrumento avanzado, de origen japonés que permite, tanto en mantenimiento como en producción, mejorar la eficiencia en el trabajo, reducir los costos de operación, mejorar la productividad en el puesto de trabajo, disminuir la ocurrencia de accidentes de trabajo, aumentar la confiabilidad de las máquinas, descubrir funciones defectuosas en cada parte de la máquina y fortalecer una cultura de mejoramiento continuo; además de cohesionar y aglutinar el personal de producción con el recurso humano de mantenimiento alrededor de las máquinas que se evalúan.

⁹ *TQC: Total Quality Control*

¹⁰ *TQM: Total Quality Management*

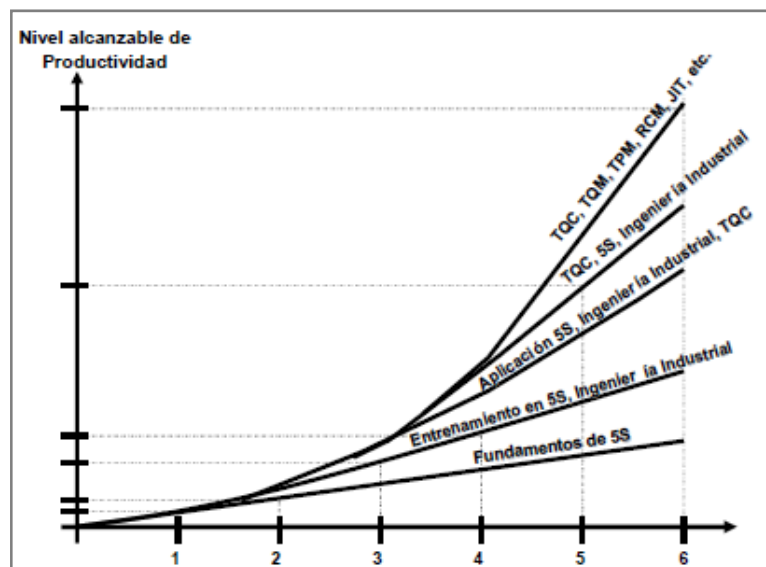
El programa consiste en actividades de orden, limpieza y hábito en el lugar de trabajo, es muy simple de entender y aplicar y sus resultados son rápidamente detectables. En Japón se considera que la implantación de las 5's es el inicio de cualquier programa de mejora continua. Su nombre proviene de las palabras japonesas que explican sus 5 componentes. Ver la tabla 4.

Tabla 4. El significado de las 5's

El significado de las 5's				
SEIRI	SEITON	SEISO	SEIKETSU	SHITSUKE
Seleccionar	Ordenar	Limpiar	Estandarizar	Autodisciplina
Identificar, clasificar, separar y eliminar del puesto de trabajo todos los materiales innecesarios, conservando todos los materiales necesarios que se utilizan	Establecer la manera en que los materiales necesarios deben ubicarse e identificarse para que cualquiera pueda encontrarlos, usarlos y reponerlos de forma fácil y rápida	Identificar y eliminar las fuentes de suciedad asegurando que todo se encuentra siempre en perfecto estado de uso	Distinguir una situación normal de una anormal, con normas visibles y establecer cómo actuar para corregir las anomalías	Trabajar permanentemente de acuerdo con normas establecidas, asumiendo el compromiso de todos para mantener y mejorar el nivel de organización, orden y limpieza

Fuente: (ITCL, 2010)

Figura 7. Procesos de mejora continua en el tiempo, basados en las 5's



Fuente: (Mora, 2007b)

▪ Mejoramiento continuo: el mejoramiento continuo consiste en tratar de optimizar el uso de factores básicos de los procesos a través del análisis permanente de actividades, procesos y macro procesos. Existen diversos métodos que procuran el mejoramiento continuo en cierta forma aplicables a la gestión de mantenimiento, como el Kobetsu-Kaizen y el PM¹¹ (Mora, 2009).

El Kaizen es un enfoque de gestión con sentido común que se fundamenta en el mejoramiento continuo y enfocado, y en la participación total permanente de todos los procesos de la empresa. Establece estándares y metas que se deben ir superando poco a poco, y tiene como objetivo eliminar las pérdidas mediante actividades de grupos de trabajo comunicados:

1. Identificar el problema: sistema de información.
2. Definir por qué ocurre el problema: análisis de la causa raíz.
3. Establecer planes de acción realistas: a corto – mediano – largo plazo.
4. Realizar contramedidas: efectividad en costo.
5. Verificar los resultados: meta = “0”.

El PM consiste en estudios frecuentes de procesos de materias primas, máquinas, energía y señales. En mantenimiento, el PM busca la solución de averías en la máquina antes de que estas repercutan sobre los productos, con el fin de obtener la mejor calidad en ellos; a través del cumplimiento de las condiciones básicas, el respeto de las condiciones de utilización, la reparación de todas las degradaciones que se observan, la mejora de las deficiencias de diseño y la mejora de las condiciones de operación, producción y mantenimiento.

Finalmente, se tienen los instrumentos avanzados específicos de mantenimiento, los cuales abarcan el análisis de fallas, la gestión y el manejo de inventarios, repuestos e insumos de mantenimiento, la subcontratación y los métodos de diagnóstico rápido y confiable en mantenimiento.

¹¹ PM: *P(Physique)* y *M (Machine) et (Matières)*, por sus siglas en francés

- **Análisis de fallas:** el análisis de falla establece la premisa que problema que no se analiza, no se elimina. La metodología parte de la base de la presencia o detección repentina de una situación fuera del estándar, que manifiesta de alguna forma la falta de funcionalidad total o parcial del equipo o elemento.

El *RCM* y el *TPM* utilizan en su metodología el análisis de fallas, pero éste se puede implementar indiferentemente del nivel en que se encuentre la empresa.

La falla se entiende como la pérdida de la funcionalidad de un equipo y la avería se considera cuando el elemento, pieza, máquina o equipo presenta un daño originado por la falla, directa o indirectamente. La clasificación internacional de las fallas es: críticas, degradantes, incipientes y desconocidas; la Casa OREDA las clasifica entre crónicas y esporádicas; las fallas recurrentes también se presentan y afectan el sistema productivo de forma inmediata.

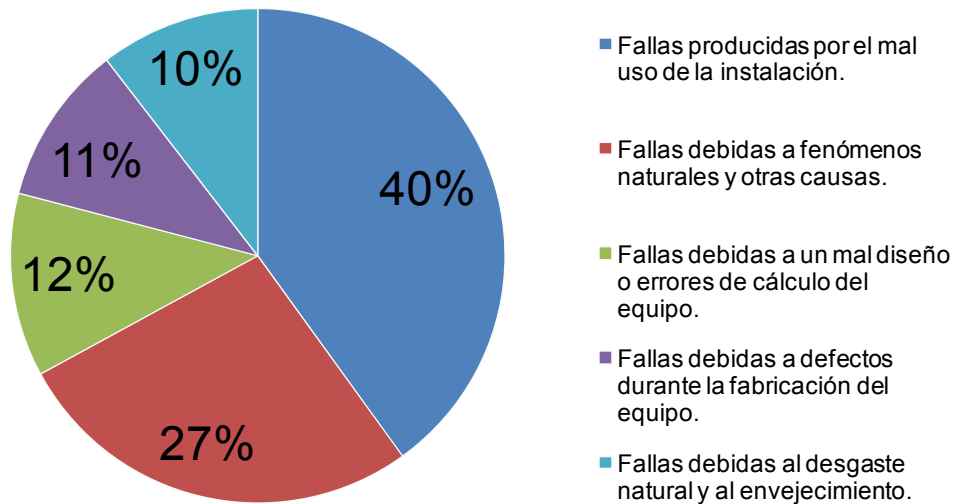
Todo análisis de fallas debe seguir una metodología específica, pero siempre se deben seguir cuatro pasos básicos: descripción, análisis, solución y documentación. Es importante tener claro que las metodologías de análisis de fallas sólo funcionan si se aplica ingeniería u otras áreas del conocimiento que permitan determinar las causas inmediatas, básicas y causa raíz de la falla (Mora, 2009).

El análisis de la causa raíz de las fallas o *RCFA*¹² es un método riguroso para la solución de problemas en cualquier tipo de falla; se basa en un proceso lógico y en la utilización de arboles de causas de fallas. Con el *RCFA* se puede llegar a deducir hasta tres niveles de causa raíz. El tiempo que toma el *RCFA* para casos particulares de falla puede ser entre uno y cuatro meses en promedio, dependiendo de las habilidades de las personas del grupo caza fallas, de la cantidad de reuniones y del conocimiento técnico que se maneje.

La figura 8 ilustra una de las clasificaciones de las causas de fallas y su distribución en porcentaje.

¹² *RCFA: Root Cause Failure Analysis*

Figura 8. Ejemplo de clasificación de las causas de fallas



Fuente: (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997)

El procedimiento *FMECA*¹³ organiza, a partir del conocimiento de todas las funciones, las fallas reales y potenciales, las causas raíz y modos de falla, las tareas correctivas, modificativas o proactivas de mantenimiento que se deben realizar, después de haber ejecutado exhaustivamente el análisis de fallas y el *RCFA*.

El *RPN*¹⁴, por otro lado, jerarquiza cada una de las tareas definidas con *FMECA* para dar prioridad a los esfuerzos en los equipos que más lo requieran, de acuerdo a la criticidad.

▪ Gestión y el manejo de inventarios, repuestos e insumos de mantenimiento: los repuestos de mantenimiento se pueden clasificar en recambios de consumo o repuestos genéricos, repuestos específicos, de seguridad, obsoletos, inservibles y excedentes; a continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

Recambios de consumo o repuestos genéricos: muchos equipos utilizan piezas similares, como por ejemplo, empaques, cojinetes, tornillos, correas, racores, fusibles, etc. Estos

¹³ *FMECA: Failure Mode Effects Causes and Criticality Analysis*

¹⁴ *RPN: Risk Priority Number*

repuestos suelen tener un consumo medio-elevado, un precio bajo-medio y un plazo de entrega corto o inmediato.

Repuestos específicos: piezas con geometrías, formas o propiedades muy específicas, propias de cada equipo. En este grupo se incluyen, por ejemplo, cilindros, rodamientos y piñones especiales, rodillos, filtros, entre otros. Su consumo es moderado, tienen un precio medio-alto y los tiempos de entrega son largos.

Repuestos de seguridad: son de imprescindibles para el funcionamiento del sistema productivo, tienen un tiempo de entrega largo, costo medio-elevado y consumo medio-bajo. Estos repuestos, debido a su criticidad, deben mantenerse en stock para evitar paradas prolongadas por ausencia y espera de recepción.

Repuestos obsoletos: este grupo contiene los repuestos pertenecientes a equipos fuera de servicio o sustituidos por otros más modernos. En algunas ocasiones, el departamento de mantenimiento prefiere conservar el repuesto para usarlo en alguna reparación, pero es importante estudiar el costo de almacenamiento de este repuesto, la probabilidad de que se use posteriormente y si es posible negociarlo con un ente externo para recuperar parte de la inversión en él (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

Repuestos inservibles: si el repuesto está averiado o ha caducado, por ejemplo, si pierde sus propiedades fisicoquímicas, clasifica dentro de este grupo y debe desecharse.

Excedentes: dentro de este grupo clasifican los materiales e insumos que quedan de una operación y no se van a volver a usar en actividades de mantenimiento¹⁵.

La gestión y el manejo de inventarios emplean la clasificación ABC y la denominación *Push* y *Pull* para jerarquizar los repuestos e insumos de acuerdo al grado de importancia de los mismos, teniendo como base la cantidad de unidades usadas o demandadas y el precio de las mismas.

¹⁵ Nota de clase de la materia Sistemas de Información con el profesor Pablo Pinilla, año 2009.

Clasificación ABC: las referencias tipo A mantienen un excelente nivel de inventario en todos los almacenes o en los que existan; las tipo B mantienen niveles medios de inventario en algunos almacenes; y las tipo C, mantienen niveles bajos de inventario y en uno que otro almacén

Diferentes autores han determinado porcentajes de relación entre inventario y utilización de referencias; Ronald Ballou, por ejemplo, establece que un 20% de las referencias representa al menos el 80% de la cifra total utilizada.

Denominación *push* y *pull*: la ejecución de la clasificación ABC da paso al desarrollo de la denominación *push* o *pull*, la cual clasifica las referencias dependiendo de la función característica que deben cumplir los repuestos e insumos de mantenimiento.

Las referencias *push* siempre deben estar disponibles en los almacenes de repuestos e insumos de mantenimiento y cuando se alcanza el nivel mínimo de inventario se hace el reaprovisionamiento para restablecer el nivel deseado.

Las referencias *pull*, por otro lado, se piden únicamente al proveedor o fabricante cuando mantenimiento las requiere, es decir, que haya una demanda específica; son de demanda irregular y aleatoria. Dentro de esta referencia se incluyen los repuestos específicos para equipos, definidos anteriormente.

Para cada denominación existen unas cantidades óptimas a pedir, puntos de pedido y tiempos de reaprovisionamiento, con el fin de optimizar la compra y lograr el mínimo costo (Mora, 2007b).

- **Subcontratación:** la subcontratación consiste en la contratación de los servicios de una empresa externa o ajena, para la ejecución de algunas actividades específicas de mantenimiento. Algunas de las razones más importantes para subcontratar son la mano de obra no calificada, inexperta o escasez de personal, no disponibilidad de los recursos materiales necesarios, falta de tiempo y los costos.

La subcontratación implica una serie de elementos que el proceso de mantenimiento deben considerar al momento de subcontratar, entre ellos están, la selección de la empresa contratista, el análisis de las propuestas, el tipo y las condiciones del contrato, las cláusulas, garantías y seguros, el seguimiento de las actividades, el control de la herramienta y materiales, la exigencia de los títulos, certificados y afiliaciones de quienes ejecutan las actividades, la forma de pago, entre otros. (Souris, 1992).

- Métodos de diagnóstico rápido y confiable en mantenimiento: los métodos de diagnóstico se utilizan para realizar auditorías, evaluaciones, diagnósticos y mediciones que permitan evaluar la situación en las diferentes áreas y aspectos que se deben tener en cuenta en la gestión del departamento de mantenimiento (Lourival, 1994).

Los métodos de diagnóstico que se reconocen son: Análisis y diagnóstico de Lourival y Fabrés, *Flash Audit* y Método jerárquico analítico de componentes principales. A continuación se describe el *Flash Audit*.

Flash Audit: el *Flash Audit* es una herramienta que contesta fácilmente las preguntas: ¿En qué nivel de desarrollo se encuentra la gestión de mantenimiento dentro de la empresa? y ¿cuáles son los asuntos de potencial importancia en los que la empresa debe enfocarse a mejorar?

El *Flash Audit*, conocido como auditoría rápida, es una metodología inglesa para auditar el área de mantenimiento, la cual permite evaluar de una forma integral y detallada casi todos los parámetros empresariales de mantenimiento; al evaluar diferentes tópicos de mantenimiento mediante trescientas ochenta y seis (386) preguntas que miden doce (12) instrumentos básicos de mantenimiento. Sus resultados se entregan en forma numérica y de radar; las personas que participan son funcionarios de mediano y alto rango de las áreas de producción, mantenimiento y gerencia de planta.

Las doce áreas tienen como contenido temas fundamentales para la gestión de mantenimiento, y es de gran importancia para las empresas tener una noción del estado de dicha gestión respecto de estas áreas. Cada área está dividida en secciones diferentes, lo que permite orientar al usuario para que se pueda tener una mejor

interpretación de cada una de las preguntas; esta estructura hace más rápido y eficiente el proceso de auditoría y facilita la interpretación de los resultados.

Los archivos para el desarrollo de la auditoría rápida se trabajan desde un computador con la ayuda de la herramienta macro de *Microsoft Excel*, la cual procesa los resultados arrojados por las encuestas que se realizan a los doce representantes de todas las áreas que se relacionan con el proceso de mantenimiento: cuatro de gerencia, cuatro de producción y cuatro de mantenimiento. La herramienta computacional agiliza el proceso de auditoría, recopila la información en tiempo real, facilita su manejo y permite una retroalimentación más clara, rápida y efectiva.

La metodología continua de trabajo establece una dinámica de mejoramiento, mediante el conocimiento de objetivos, metas y factores claves a desarrollar, con el fin de crear un foco de cambio, mediante el cual se establecen políticas claras que conllevan a mejorar la gestión del departamento de mantenimiento.

El buen uso de esta herramienta permite desarrollar un mejoramiento tanto de la disponibilidad de equipos, como de la productividad, a través de todos sus factores, lo que facilita cumplir uno de los objetivos básicos del mantenimiento; garantizar la disponibilidad y prolongar la vida útil de los equipos (Saldarriaga & Botero, 2001).

La tabla 5 ilustra las áreas, los tópicos, el número de preguntas y los porcentajes que se obtienen por cada área que se evalúa en la empresa; cada una tiene diferentes puntos a evaluar. La suma de los porcentajes debe ser igual al cien por ciento.

Los resultados que se obtienen permiten establecer los temas de menor calificación y con ellos se toman las preguntas de menor evaluación, para priorizar los planes de mejoramiento en esa dirección (Mora, 2009).

Tabla 5. Áreas y tópicos que cubre y diagnostica el *Flash Audit*

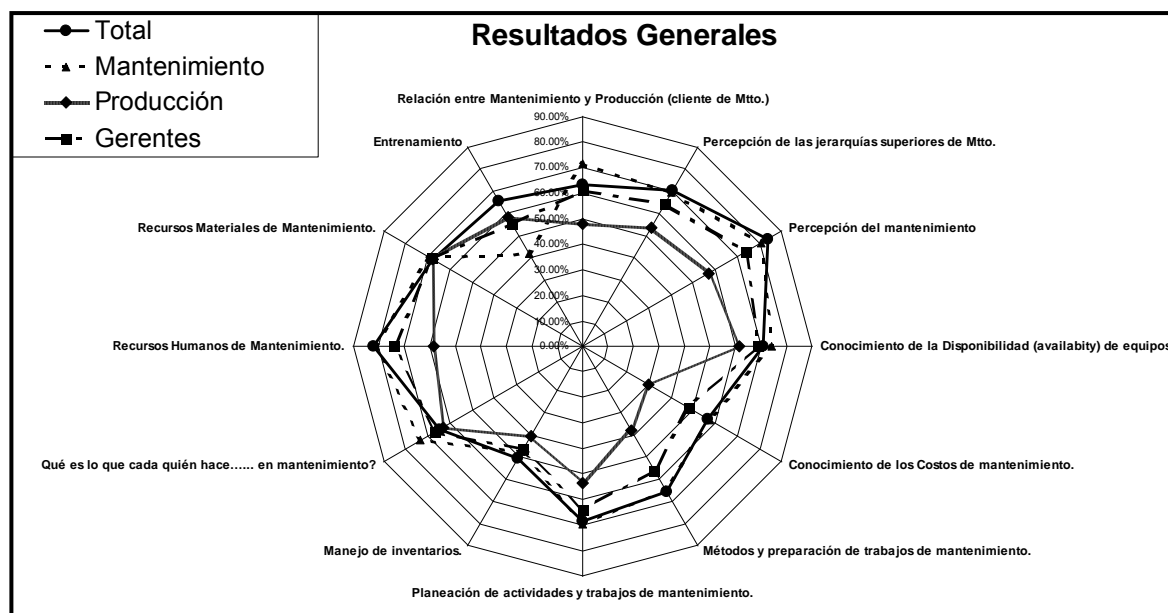
Área	Tópico	Preguntas por tópico	Preguntas por área	Porcentaje de preguntas
1. Estado de la relación entre las áreas de mantenimiento y producción.			34	8,81%
	a) Comunicación y relaciones	6		
	b) Métodos de intervención	9		
	c) Percepción del nivel de mantenimiento preventivo	11		
	d) Medición de la función de mantenimiento por el área de producción	8		
2. Los niveles superiores cómo observan a mantenimiento.			31	8,03%
	a) Posición de mantenimiento en la estructura y organigrama de la empresa	9		
	b) Ubicación del recurso humano y su mano de obra dentro de la empresa	7		
	c) Opinión sobre mantenimiento	8		
	d) Importancia que se da a los recursos financieros	7		
3. Percepción interna y propia de mantenimiento.			26	6,74%
	a) Importancia que se da a la organización en mantenimiento	10		
	b) Manejo, gestión y análisis de datos y registros en mantenimiento	8		
	c) Mantenimiento preventivo	8		
4. Grado de disponibilidad de equipos.			22	5,70%
	a) Sistema de registro e información histórica de mantenimiento y operación de equipos	12		
	b) Análisis y utilización de los datos de información y registros históricos	10		
5. Conocimiento de los costos de mantenimiento.			20	5,18%
	a) Registro, análisis y utilización de los costos históricos de mantenimiento	13		
	b) Análisis de los costos presentes en mantenimiento	7		
6. Métodos y preparación de las tareas de mantenimiento.			66	17,10%
	a) Nivel de operación de los trabajos de mantenimiento para el área de producción	12		
	b) Registro histórico de intervenciones y demandas de trabajos de mantenimiento	7		
	c) Análisis del sistema actual de planeación y preparación de tareas de mantenimiento	10		
	d) Planeación de los trabajos de mejoras y rediseños de los equipos	7		
	e) Mantenimiento planeado, suplantación y preparación	9		
	f) Planeación y consecución de repuestos y piezas de recambio	10		
	g) Manejo de la documentación e información técnica	11		
7. Planeación de las actividades de mantenimiento.			23	5,96%
	a) Programación de las tareas de mantenimiento	13		
	b) Cronograma y ejecución de todas las actividades de mantenimiento	10		
8. Manejo y gestión de inventarios.			56	14,51%
	a) Manejo en general de inventarios de repuestos e insumos de mantenimiento	7		
	b) Sistema de información, registro, entradas, salidas, pedidos, stocks de los repuestos	10		
	c) Listado de repuestos	18		
	d) Gestión y manejo de repuestos	12		
	e) Compras, pedidos, proveedores, reposición de inventarios, etc. de los repuestos	9		
9. Actividades y roles de los miembros del equipo de mantenimiento.			29	7,51%
	a) En cuanto a mantenimiento	21		
	b) En relación a la seguridad	8		
10. Manejo de recursos humanos en mantenimiento.			34	8,81%
	a) Indicadores, tasas y rendimientos de la mano de obra física e intelectual	10		
	b) Gestión del recurso humano en mantenimiento y su mano de obra y utilización	9		
	c) Proporción de mano de obra preventiva, predictiva y correctiva en mantenimiento	4		
	d) Aspectos de productividad y motivación del personal de mantenimiento	11		
11. Gestión y manejo de recursos físicos y materiales en mantenimiento.			27	6,99%
	a) Documentación técnica	10		
	b) Utensilios, equipos y herramientas de mantenimiento	11		
	c) Infraestructura	6		
12. Capacitación y entrenamiento en mantenimiento			18	4,66%
	a) Importancia del entrenamiento y de la capacitación en mantenimiento	18		
Total			386	100,00%

Los resultados se arrojan conjuntamente en una hoja final de resultados de los valores reales y por mejorar por grupo y área (ver tabla 6), así como los resultados gráficos en la hoja radar (ver figura 9).

Tabla 6. Tabla de resultados del *Flash Audit*

No.	Concepto	Gerentes		Mantenimiento		Producción		Total	
		% Real Gerentes	% por mejorar	% Real Mantenimiento	% por mejorar	% Real Producción	% por mejorar	% Real Total	% por mejorar
1	Relación entre mantenimiento y producción	63,24	36,76	71,32	28,68	47,79	52,21	60,78	39,22
2	Percepción de las jerarquías superiores de mantenimiento	70,16	29,84	69,35	30,65	53,23	46,77	64,25	35,75
3	Percepción del mantenimiento	83,65	16,35	80,77	19,23	56,73	43,27	73,72	26,28
4	Conocimiento de la disponibilidad de equipos	70,45	29,55	73,86	26,14	61,36	38,64	68,56	31,44
5	Conocimiento de los costos de mantenimiento	56,25	43,75	57,5	42,5	30,00	70,00	47,92	52,08
6	Métodos y preparación de trabajos de mantenimiento	65,53	34,47	64,77	35,23	38,26	61,74	56,19	43,81
7	Planeación de actividades y trabajos de mantenimiento	68,48	31,52	69,57	30,43	53,26	46,74	63,77	36,23
8	Manejo de inventarios	50,45	49,55	47,32	52,68	40,18	59,82	45,98	54,02
9	¿Qué es lo que cada quién hace en mantenimiento?	64,66	35,34	73,28	26,72	62,93	37,07	66,96	33,04
10	Recursos humanos de mantenimiento	81,62	18,38	80,88	19,12	58,09	41,91	73,53	26,47
11	Recursos materiales de mantenimiento	67,59	32,41	69,44	30,56	67,59	32,41	68,21	31,79
12	Entrenamiento	65,28	34,72	41,67	58,33	58,33	41,67	55,09	44,91

Figura 9. Radar de resultados del *Flash Audit*



Fuente: (Mora, 2007b)

6.2.2. Revisión exhaustiva. A continuación se presenta la revisión exhaustiva de los instrumentos básicos y avanzados (genéricos y específicos) de mantenimiento descritos en el nivel instrumental del enfoque sistémico kantiano. Ver tablas 7, 8, 9, 10, 11.

Tabla 7. Revisión exhaustiva del elemento sistema de información

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Sistema de información		
1. Fase o etapa:	<input checked="" type="checkbox"/> Desarrollo	<input type="checkbox"/> Implementación	<input type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input checked="" type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:			
<p>El proceso de mantenimiento no cuenta con un <i>CMMS</i>. Actualmente, la directora de mantenimiento y el Ingeniero de Automatización y Control desarrollan un <i>CMMS</i> bajo el lenguaje de programación <i>Visual Basic de Microsoft Excel</i>. Este se encuentra en la etapa conceptual y de pruebas de la aplicación, y su desarrollo completo puede tardar aproximadamente 1 año.</p> <p>Por otro lado, el proceso maneja un gran número de archivos en <i>Microsoft Word, Excel, Power Point, PDF</i> y físicos que contienen formatos, registros, especificaciones y demás tipos de documentos; estos facilitan a la directora y a los técnicos del proceso la planeación, ejecución y control del mantenimiento. Muchos de los documentos tienen relación y se complementan.</p> <p>La empresa tiene planeado implementar una plataforma SCADA para el monitoreo en tiempo real de toda la planta de producción, la cual estaría directamente comunicada con el <i>CMMS</i> que se desarrolla actualmente. El manejo de la contabilidad se hace desde la sede administrativa de la empresa y se pretende que el <i>CMMS</i> se comunique con el sistema de contabilidad de la otra sede.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué?			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Revisión exhaustiva del recurso humano

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Recurso humano</div>		
1. Fase o etapa:	<input checked="" type="checkbox"/> Desarrollo	<input checked="" type="checkbox"/> Implementación	<input type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input checked="" type="checkbox"/> Alto	<input checked="" type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Descripción breve:</div> <p>El recurso humano propio en mantenimiento está formado por una directora, estudiante del último semestre de Ingeniería Mecánica; un técnico (número uno) electromecánico; un tecnólogo (técnico número 2) estudiante de la tecnología en Mecánica industrial. Para las actividades o mantenimientos por Outsourcing, la empresa cuenta con proveedores capacitados para el área específica, como por ejemplo, en electromecánica, aire comprimido, electrónica y programación, entre otros. La mano de obra física permite finalizar completamente la cantidad de trabajo en el tiempo previsto, la demora se presenta al momento de diligenciar las órdenes de trabajo y otros formatos. Por el momento, no es necesario ni posible aumentar el personal de mantenimiento.</p> <p>Actualmente, el técnico número uno se encuentra en entrenamiento teórico-práctico, ya que comenzó a trabajar con la empresa hace aproximadamente un mes. Su entrenamiento marcha de forma adecuada y se ha adaptado fácilmente al proceso, tiene altas capacidades y habilidades, además del conocimiento en ciertas áreas específicas; él ha propuesto varias metodologías para la ejecución de los mantenimientos. El técnico número dos presentó su renuncia en el mes de abril porque se le presentó una oportunidad de trabajo mejor. En vista de lo anterior, la empresa decidió promover a uno de los operarios para el cargo de técnico, pues tiene suficientes conocimientos y ha participado en varias labores de mantenimiento, él también queda a cargo del almacén de repuestos y materiales. Su entrenamiento tiene una duración de dos semanas.</p> <p>Respecto a la carga laboral de los trabajadores, no se tienen el cálculo o porcentaje de ocupación, ni una programación acerca de la carga de trabajo del personal de ejecución. Para las tareas preventivas, correctivas y modificativas programadas, se prepara y anuncia con antelación la asignación de recursos humanos. De otro lado, el ausentismo del personal no se controla actualmente y hay cierta carencia de trabajo calificado.</p> <p>El proceso de mantenimiento cuenta con un personal muy valioso y siempre procura mejorar su desempeño, trabajando en equipo, proponiendo y actuando. Para la directora de mantenimiento es vital que los técnicos participen en la gestión porque ellos tienen muchos conocimientos y pueden tener una visión diferente de las cosas.</p>			
<p>3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No </div> <p style="margin-top: 5px;">Si la respuesta es no, ¿por qué?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>			

Fuente: elaboración propia

Tabla 9. Revisión exhaustiva de las herramientas, los repuestos e insumos

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Herramientas, repuestos e insumos		
1. Fase o etapa:	<input checked="" type="checkbox"/> Desarrollo	<input checked="" type="checkbox"/> Implementación	<input type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input checked="" type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:			
<p>Herramientas: la empresa cuenta con un taller de mantenimiento donde se almacena la herramienta bajo llave en un carro portaherramientas; ésta se clasifica por familias en cada cajón, pero no se tienen las siluetas y nombres para su ubicación rápida y detección de faltantes, o ejecución de inventario. Este aspecto es importante corregirlo lo más rápido posible, pues se puede perder fácilmente alguna herramienta y no detectarlo el técnico. Se tiene un inventario en formato Excel para la herramienta, donde se especifica el nombre, la marca y la cantidad en existencia, pero el inventario no se realiza sistemáticamente.</p> <p>Para el préstamo de herramienta al personal ajeno a mantenimiento, no se cuenta con un ficho, carné y formato donde se registre qué y a quién se le presta, esto se ha prestado para confusiones y dificultades en el control de la herramienta. Además, cuando llega personal contratista, no se registra el ingreso de su herramienta, y debido a esto, se ha confundido y/o perdido la herramienta en varias ocasiones.</p> <p>En general, hay buena dotación de herramienta, de buena calidad, en buen estado y buen almacenamiento y el personal les da el uso adecuado. Para algunas máquinas nuevas aún no se dispone de toda la herramienta e instrumentos especiales, a estos últimos se le da un trato mucho más cuidadoso.</p> <p>Repuestos e insumos: para los equipos críticos se maneja un buen nivel de inventario, y para equipos en general se manejan los repuestos de mayor rotación y consumibles. La hoja de vida de cada equipo contiene el listado de partes y repuestos, pero también hay equipos que no traen esta información, y esto ha dificultado en algunas ocasiones los trabajos de mantenimiento. En otras ocasiones, el manual y listado de partes están en otro idioma, lo que dificulta la comprensión para el personal técnico, que no domina idiomas extranjeros. La directora de mantenimiento sí domina otros idiomas y traduce a los empleados la información. Los repuestos e insumos se guardan en el almacén, algunos bajo llave y otros no, dependiendo de su criticidad, costo, y volumen. Como en el caso de la herramienta, para los equipos nuevos aún no se tienen los repuestos e insumos bien definidos, se está en la etapa de identificación y compra.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué?			

Fuente: elaboración propia

Tabla 10. Revisión exhaustiva del capital de trabajo, espacio físico, tecnología y maquinaria

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Capital de trabajo, espacio físico, tecnología, maquinaria		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input checked="" type="checkbox"/> Implementación	<input type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input checked="" type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:			
<p>Capital de trabajo: trimestralmente la directora de mantenimiento realiza un presupuesto de gastos para las labores dentro de ese período; éste se clasifica en repuestos de equipos, materiales y consumibles de mantenimiento, herramienta, servicios técnicos (mano obra). El presupuesto de gastos de mantenimiento representa un 6.3% del presupuesto total de gastos. En su ejecución, se controla el gasto y se ajustan otros rubros que no hayan sido contemplados, bien sea con los imprevistos o se hacen movimientos entre rubros y formas de pago con los proveedores.</p> <p>Espacio físico: dentro de la planta de producción se tiene designado un espacio para el taller de mantenimiento, está ubicado de forma estratégica entre la oficina de supervisión y la zona de mecanizados, desde toda la planta se puede ubicar fácilmente el taller. Éste está dotado de un estante para el almacenamiento de piezas, una mesa con un recubrimiento especial para los trabajos de ensamble y desensamble capaz de soportar químicos y golpes fuertes, una prensa mecánica, una sierra sin fin, dos esmeriles, pistolas sopladoras de aire comprimido y un carro de seguridad para la herramienta. Algunas operaciones de mantenimiento se hacen in situ; para estos casos, los técnicos trasladan el carro de herramienta hasta allí.</p> <p>Se observa que hace falta un computador para uso de los técnicos, pues muchas veces deben consultar información que está digital, consultar en la web, enviar correos electrónicos, almacenar información, llenar reportes, entre otros. Este puede ir ubicado junto al puesto del supervisor, pues hay un espacio libre que es adecuado.</p> <p>Tecnología y maquinaria: tienen herramienta y equipos especializados para la ejecución de ciertas tareas de mantenimiento, la elección de ésta no se basa tanto en el costo, sino en la calidad.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input type="checkbox"/> Si, a corto plazo	<input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo	<input type="checkbox"/> Si, a largo plazo	<input type="checkbox"/> No
Si la respuesta es no, ¿por qué?			

Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Revisión exhaustiva de los elemento 5's y mejora continua

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	5's y mejoramiento continuo		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input type="checkbox"/> Implementación	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:			
<p>Estos instrumentos del mantenimiento y bases del TPM han sido implementados en algunas ocasiones en la empresa, en ambas ha traído buenos resultados y todos los empleados sienten que hay una mejora cuando se aplica. Sin embargo, no se tiene creada una filosofía de 5's y mejora continua, ni un hábito para su implementación permanente. Algunos empleados son consientes de su importancia y buscan formas de mejorar en los procesos, pero no se hace de forma permanente, por lo que es muy difícil ver resultados eficientes.</p> <p>Además, no se tiene un responsable de las mejoras continuas, ni se han creado métodos que procuren el mejoramiento continuo de procesos. El problema radica en que no se ha realizado una sensibilización adecuada y no se han creado políticas de mejora continua en la empresa. Se tiene muy buena voluntad pero poca práctica.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input checked="" type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input checked="" type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué?			

Tabla 12. Revisión exhaustiva de análisis de fallas, RCFA, FMECA y RPN.

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Análisis de fallas, RCFA, FMECA y RPN		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input type="checkbox"/> Implementación	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:			
<p>No se ha implementado ninguna de las metodologías, métodos y procedimientos de este tipo, por diversas razones: falta de conocimiento, de tiempo, de recursos materiales y humanos.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input checked="" type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué?			

Tabla 13. Revisión exhaustiva de la gestión y el manejo de inventarios, repuestos e insumos de mantenimiento

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Gestión y el manejo de inventarios, repuestos e insumos de mantenimiento.		
1. Fase o etapa:	<input checked="" type="checkbox"/> Desarrollo	<input type="checkbox"/> Implementación	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input checked="" type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:			
<p>Almacén: existe un espacio definido para el almacén de repuestos y materiales, y una persona a cargo de éste. La solicitud de repuestos y materiales para ejecución de acciones correctivas y mantenimientos se hace a través de una orden de trabajo y casi siempre se registra su consumo real. Sin embargo, no existe aún la forma de especificar en el sistema de información la orden de trabajo a la cual se deben cargar los repuestos y materiales consumidos en un mantenimiento.</p> <p>La compra de estos tiene un procedimiento definido, siempre se revisa el presupuesto de gastos antes de comprar, se cotiza y la directora de mantenimiento autoriza la compra, la cual se hace usando un formato bajo el sistema de gestión de calidad. Cuando llega un repuesto siempre se revisa su estado antes de registrarlo al sistema.</p> <p>El inventario de repuestos se maneja con la ayuda del sistema de información MecoSoftland, allí se registran las entradas con su respectiva información (proveedor, fecha, número de factura, valor unitario, cantidad y código de almacén) y las salidas (cantidad y fecha). Mensualmente, se revisa físicamente el inventario y estado de las piezas.</p> <p>Se manejan niveles mínimos y máximos para algunos repuestos, cuentan con un programa de elaboración propia en Microsoft Excel que indica qué cantidades pedir de acuerdo al nivel de inventario para la máquina Inyectora RTM, ya que se trata de repuestos de importación de difícil consecución. No se maneja la clasificación ABC para los repuestos, ni la denominación Push - Pull.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué?			
<div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>			

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Revisión exhaustiva de la subcontratación

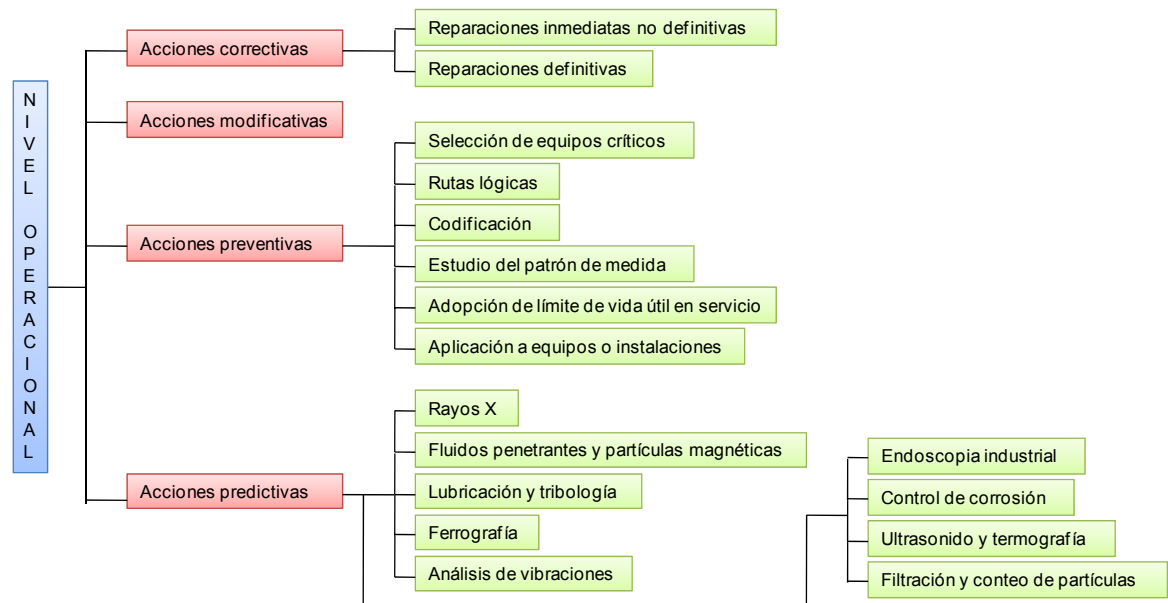
REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Subcontratación		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input checked="" type="checkbox"/> Implementación	<input type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input checked="" type="checkbox"/> Bajo
<p>Descripción breve:</p> <p>La subcontratación en mantenimiento se da en un nivel bajo, varía de acuerdo al tipo de máquina o sistema. Se subcontrata, por ejemplo, para algunos trabajos en las máquinas automatizadas, en el compresor de aire, en la impresora de inyección de tinta y en la troqueladora de puente, principalmente porque son trabajos que requieren de conocimientos más avanzados y personal especializado.</p> <p>Anteriormente, para los trabajos eléctricos y electrónicos se contrataba a una persona experta, pero con la nueva contratación del técnico electromecánico se ha disminuido casi en un 90% la subcontratación para este tipo de trabajos.</p> <p>La empresa considera que hay trabajos de mantenimiento que se deben subcontratar, bien sea por la especialidad, la no disponibilidad de los recursos materiales necesarios o falta de tiempo. Sin embargo, invierte en entrenamiento para su personal con el fin de disminuir los costos por subcontratación y todos los elementos que ésta implica.</p>			
<p>3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?</p> <p> <input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No </p> <p>Si la respuesta es no, ¿por qué?</p>			

Fuente: elaboración propia

6.2.1.2. Nivel operacional. El nivel operacional plantea las acciones que pueden ejecutarse en mantenimiento, es de orden mental debido a que el hombre diferencia el tipo de actividad (correctiva, modificativa, preventiva o predictiva) que se desarrollara sobre el equipo antes y después de la falla real o potencial (Mora, 2009).

La figura 10 presenta un esquema general con cada uno de los elementos a estudiar en este segundo nivel.

Figura 10. Esquema general de los elementos del nivel operacional



Fuente: (Mora, 2009)

Las tareas no planeadas son reparaciones que se realizan después de que sucede la falla¹⁶ y son correctivas y modificativas; mientras que las tareas programadas (a corto plazo) y planeadas (a largo plazo) de mantenimiento que se dan antes de que suceda la avería¹⁷ son las preventivas y las predictivas (Moubray, 2004).

- **Acciones correctivas:** las acciones correctivas son reparaciones a corto plazo de las fallas, estas se pueden determinar por altos niveles de ruido y/o anomalías que pueden generar otras averías mayores. Los operarios avisan su ocurrencia cuando el equipo está en servicio y el personal de mantenimiento se encarga de su reparación; ésta debe ser rápida y sencilla para ser eficiente, así como también su control y puesta en marcha (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

¹⁶ Con el fin de regresarle la funcionalidad al equipo.

¹⁷ Se realizan con el único fin de evitar fallas futuras de orden real o potencial.

Los dos tipos de tareas no planeadas son el desvare, en el que se aplica una reparación inmediata al equipo pero no necesariamente se devuelve a condición estándar; y la reparación correcta y definitiva, donde se tienen experiencias previas y se puede devolver la máquina a sus condiciones estándares de producción y mantenimiento.

El mantenimiento correctivo recupera la funcionalidad del sistema después de la pérdida de su capacidad para realizar su función y consta de las siguientes actividades: detección de la falla, localización de la falla, desmontaje, recuperación o sustitución, montaje, pruebas, verificación (Knezevic, 1996).

- Acciones modificativas: las acciones modificativas son tareas no planeadas que se dan después de realizar reparaciones continuamente y no se logra recuperar la funcionalidad del equipo; es ahí cuando se procede a utilizar instrumentos del mantenimiento para determinar la causa raíz de la falla y una vez ésta se conoce, se pasa a desarrollar procesos de acciones modificativas para intentar eliminarla (Kelly & Harris, 1998), esto se logra por medio de diseño o modificaciones en los equipos (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

Las acciones que se llevan a cabo para mejorar la productividad o elevar la confiabilidad del equipo, son también una modificación.

- Acciones preventivas: las acciones preventivas consisten en revisiones periódicas que se programan para la identificación oportuna de las fallas y la posibilidad de planeación de las reparaciones en el sistema productivo, lo que permite reducir las acciones correctivas no planeadas; esto se traduce en una prolongación de la vida útil de los equipos que se intervienen preventivamente (Cardona Gómez, 2006).

La acción preventiva se programa y realiza una vez se conocen las fallas o posibles fallas potenciales, antes de que alcance la condición fuera del estándar. Es importante tener en cuenta que las acciones preventivas nunca alcanzan el estado de falla y se pierde cierta cantidad de vida útil porque el elemento no llega al desarrollo completo de su vida útil (Patton, 1995).

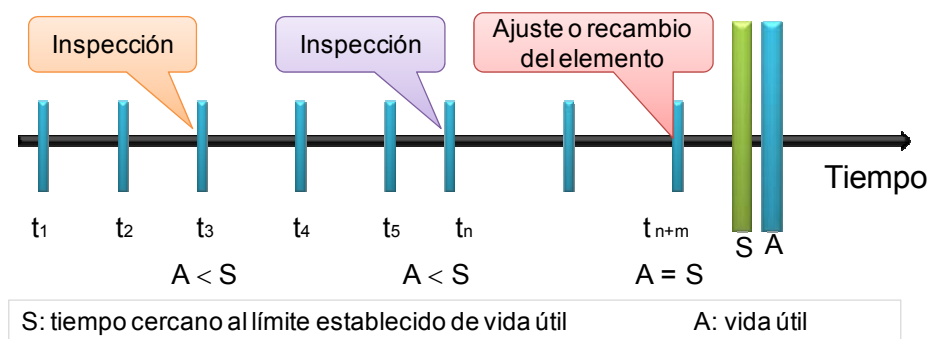
El conocimiento de éstas y de su causa raíz se da por la aplicación de instrumentos avanzados y básicos de mantenimiento, en donde se conocen los parámetros para determinar el momento en el que se debe realizar el cambio físico o el ajuste. Estos parámetros pueden ser horas de servicio y cantidad de trabajo; como por ejemplo, unidades producidas, lo que se presente primero de las dos anteriores, mantenimientos por evento, etc. (Mora, 2009).

El mantenimiento preventivo se puede clasificar en dos versiones, la primera se basa la frecuencia de inspección (mantenimiento preventivo sistemático) y la segunda en la condición de desgaste encontrada en la última revisión (mantenimiento preventivo condicional); ambas fijan la próxima inspección en el elemento (Gude@, 1998).

Algunas de las actividades que se incluyen en el mantenimiento preventivo son el desarrollo de planes y rutas de inspección, verificación y servicios, la lubricación y engrase, la inspección visual por medio de la limpieza interna y externa, el control de fugas, el control de las causas de fallas, los ajustes menores, el restablecimiento de niveles, la conservación mediante lubricantes y protectores de todos los equipos y herramientas en almacenamiento, la participación junto con las autoridades ecológicas en el manejo y disposición de desechos tóxicos, entre otras.

La figura 11 muestra las situaciones de las acciones preventivas en el tiempo, donde existen una serie de inspecciones y luego un ajuste o recambio del elemento.

Figura 11. Situaciones de las acciones preventivas



Fuente: (Mora, 2009)

Las personas que ejecutan el mantenimiento preventivo son responsables de reportar toda anomalía en las estructuras, montajes de equipo, edificaciones, etc. mediante el plan de inspecciones (Cardona Gómez, 2006).

Las principales ventajas del mantenimiento preventivo son evitar averías mayores, preparación de herramientas, repuesto y personal, y aprovechamiento del tiempo, entre otras (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

La definición de la criticidad de los equipos y de la criticidad de los trabajos de mantenimiento también hace parte del mantenimiento preventivo. Existen diversos métodos para su estimación y cada empresa decide cuál desea implementar. A continuación se describe el método del índice ICGM.

El índice ICGM (Índice de clasificación para los gastos de mantenimiento) o RIME (*Ranking Index for Maintenance Expenditure*), creado por *Ramond and Associates Inc.* y como se conoce en Estados Unidos de América, permite clasificar los gastos de mantenimiento interrelacionando los equipos a atender y el tipo de trabajo a realizar en ellos. El índice ICGM se compone de dos factores:

El código de máquina identifica los equipos por atender (máquinas, instrumentos, artefactos, instalaciones y construcciones). Éste considera tres componentes, que al multiplicarlos proporciona el factor por equipo: porcentaje de utilización, porcentaje de rentabilidad y factor de proceso.

El código de trabajo identifica cada tipo de trabajo a realizar en dichos recursos. Éste considera cinco factores que se suman para obtener el factor de trabajo: costo por pérdida de calidad, costo por pérdida de producción, costo de mantenimiento aplazado, costo por re-trabajo y costo por seguridad.

La multiplicación de estos dos factores da como resultado el índice ICGM:

$$\text{Índice ICGM} = \text{Código de máquina} \times \text{Código de trabajo}$$

Índice ICGM simplificado: es un método más simplificado en su elaboración y más práctico para las empresas. En éste también se determina el código de máquina y de trabajo, pero con la participación de las personas conocedoras de las funciones de mantenimiento, producción y finanzas. Este equipo de trabajo define los criterios para la elaboración del código de máquina de acuerdo a las necesidades de la empresa, el tipo de equipos, sus procesos de fabricación, entre otros.

A cada criterio se le asigna un valor de uno a diez, y al criterio al cual pertenezca el equipo, establece el código de máquina. Por ejemplo, la calificación más alta se asigna a los equipos que proporcionan el servicio más importante, del cual no se puede prescindir. Las tablas 15 y 16 muestran los criterios para la elaboración del código de máquina y del código de trabajo, respectivamente.

Tabla 15. Criterios para la elaboración del código de máquina

Código de máquina	Concepto
10	Recursos vitales
9	Recursos importantes
8	Recursos duplicados situados en la línea de producción
7	Recursos que intervienen en forma directa en la producción
6	Recursos auxiliares de producción sin reemplazo
5	Recursos auxiliares de producción con reemplazo
4	Recursos de embalaje y pintura
3	Equipos generales
2	Edificios para la producción y sistemas de seguridad
1	Edificios e instalaciones estéticas

Tabla 16. Criterios para la elaboración del código de trabajo

Código de máquina	Concepto
10	Paros
9	Acciones preventivas urgentes
8	Trabajos de auxilio a producción
7	Acciones preventivas no urgentes
6	Acciones preventivas generales
5	Acciones rutinarias
4	Acciones para mejorar la calidad
3	Acciones para la disminución del costo
2	Acciones de salubridad y estética
1	Acciones de aseo y orden

Una vez se establece el ICGM simplificado, se combina con el principio de Pareto para obtener el inventario jerarquizado de mantenimiento (vital, importante y trivial). El ICGM se apoya en la importancia de las fallas para decidir la secuencia en que deben ejecutarse los trabajos de mantenimiento.

En síntesis, la criticidad de los equipos se clasifica en vital, importante y trivial, de acuerdo a la puntuación. Ver tabla 17.

Tabla 17. Puntuación para la valoración de la criticidad de los equipos

Puntuación	Valoración de la criticidad del equipo
$10 \leq x \leq 9.5$	Vital
$9.5 \leq x \leq 8$	Importante
$x < 8$	Trivial

Fuente: (Dounce Villanueva, 2006)

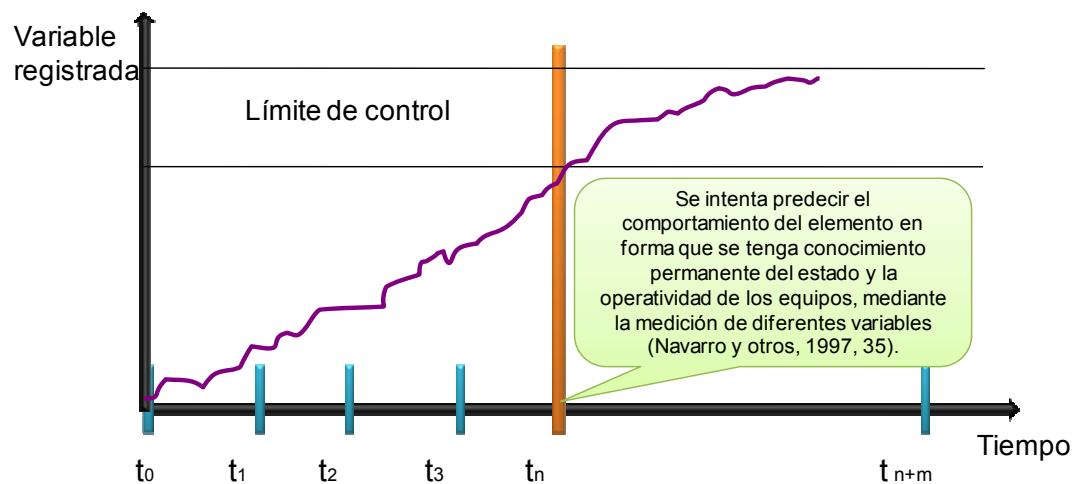
- **Acciones predictivas:** las acciones predictivas o *PdM* son procedimientos técnicos de apoyo en mantenimiento que permiten prever la condición de estado de los equipos en el tiempo y detectar fallas en forma anticipada a su ocurrencia; se basa en metodologías de predicciones según modelos matemáticos en dos y tres dimensiones. Se aplica a los elementos constitutivos de sistemas productivos para apoyar la mayor eficiencia de las variables CMD, al predecir el comportamiento de dichos componentes y por consiguiente la disponibilidad de los diferentes elementos/equipos que constituyen estos sistemas.

La aplicación de este mantenimiento se hace en la zona Beta dos desde el esquema que presenta la curva de la Bañera de Davis, esto permite a los ingenieros saber cuándo el equipo va a entrar en la zona Beta dos para evitar que alcance la zona Beta tres, que corresponde a la etapa de no retorno de la funcionalidad y donde los mantenimientos se hacen más costosos que el cambio del elemento o equipo.

El *PdM* busca llevar hasta los límites permisibles en rangos de confiabilidad la condición de estado de las partes de un equipo, aportando la información requerida tomar decisiones relativas a cambio, reparación o ajuste de dichas partes o equipos.

La figura 12 ilustra las situaciones de las acciones predictivas en el tiempo, dentro de las cuales se tienen inspecciones y controles sin la interrupción de la operación del equipo, y otras que requieren parada del equipo.

Figura 12. Situaciones de las acciones predictivas



Fuente: (Mora, 2009)

Las ventajas del mantenimiento predictivo radican en la velocidad de detección de la avería, aumento de la información del estado de los equipos por medio de incorporación de variables y la rapidez con que se mide la información, todo esto permite que el mantenimiento predictivo predomine sobre los otros tipos de mantenimiento (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997). Las acciones, además, se pueden efectuar sin necesidad de interrumpir la operación del equipo, pero otras sí requieren de paradas, aunque estas son menos frecuentes.

La reducción del tiempo de parada al conocerse exactamente qué parte es la que falla, la optimización de la gestión del personal de mantenimiento, el manejo y análisis de un

registro de información histórica vital son algunas de las ventajas adicionales a la hora de la toma de decisiones técnicas en los equipos¹⁸.

El desarrollo de equipos de control, sensibles, digitales, de fácil manejo, con programas de software que permiten la acumulación y comparación histórica de la información recibida por sensores de infrarrojo, de ultrasonido, de vibraciones, de velocidad, de humedad, etc. aportan maravillosa tecnología para identificar los cambios de comportamiento, logrando proyectar la programación de servicios no en base al tiempo de uso, sino al estado actual real (Cardona Gómez, 2006).

Las principales acciones predictivas son:

- ☐ Rayos X
- ☐ Fluidos penetrantes
- ☐ Aplicación de partículas magnéticas
- ☐ Lubricación
- ☐ Tribología
- ☐ Ferrografía
- ☐ Filtración
- ☐ Conteo de partículas
- ☐ Control de la corrosión
- ☐ Análisis de vibraciones
- ☐ Monitoreo de condición (endoscopia industrial)
- ☐ Ultrasonido
- ☐ Termografía
- ☐ Análisis/manejo de combustibles

6.2.3. Revisión exhaustiva. Las tablas 18, 19, 20 y 21 presentan la revisión exhaustiva de las acciones correctivas, modificativas, preventivas y predictivas pertenecientes al nivel operacional, que lleva a cabo el proceso de mantenimiento en la empresa.

¹⁸ Notas de clase de la materia Acciones Predictivas con el profesor Jairo Ortiz, año 2010.

Tabla 18. Revisión exhaustiva de las acciones correctivas

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Acciones correctivas		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input checked="" type="checkbox"/> Implementación	<input type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input checked="" type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Descripción breve:</div> <p>Cuando la empresa inició sus labores productivas en el mes de junio del año 2006 se dedicó a realizar acciones correctivas inmediatas en sus equipos únicamente. Durante los siguientes dos años continuó con las reparaciones hasta que se dio cuenta de la necesidad de implementar acciones que evitaran o redujeran el número de fallas en sus equipos críticos: el compresor de aire que provee a la inyectora RTM su principal fuente de energía y la inyectora RTM que bombea la resina a los moldes.</p> <p>Hoy en día, llevan a cabo acciones correctivas tanto inmediatas como definitivas, de forma planeada y no programadas. La primera se hace porque en algunos equipos, para ciertas fallas conocidas, no se justifica la ejecución de acciones preventivas o predictivas, y la segunda se da cuando no se detecta la falla del equipo a tiempo para evitar la avería. Las acciones correctivas no programadas aún son muy usuales en la empresa por dos razones importantes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No se han llevado a cabo estudios para el análisis de fallas. 2. Algunos de los equipos no tienen documentación suficiente porque son de segunda, o porque han sido fabricados por la misma empresa o porque el proveedor no la proporcionó. El servicio técnico pos venta no es muy bueno en algunos de los proveedores, lo que dificulta la adquisición de información y entrenamiento. 3. La mayoría de los equipos son importados y es difícil conseguirle repuestos o su importación tarda entre uno y dos meses. <p>La automatización de sus máquinas llamadas SAIMOM (Sistema Automático de Molde Multicavidad) y de la inyectora RTM ha contribuido enormemente en la disminución y/o eliminación de las fallas que tienen su origen en dispositivos mecánicos, neumáticos y errores humanos en la operación de las máquinas; un factor muy común en la mayoría de las empresas por diversos motivos.</p> <p>Para la ejecución de algunas acciones correctivas existen procedimientos e historiales que facilitan la labor, además el personal técnico se encuentra bien capacitado para la labor. Sin embargo, aún hay mucho por mejorar en este aspecto; redactar más procedimientos, más entrenamiento, mejor documentación, y llevar a cabo las metodologías para el análisis de fallas como FMECA, RCFA y RPN.</p>			
<p>3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No </div> <p>Si la respuesta es no, ¿por qué?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>			

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Revisión exhaustiva de las acciones modificativas

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Acciones modificativas		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input checked="" type="checkbox"/> Implementación	<input type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input checked="" type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Descripción breve:</div> <p>Este tipo de acciones se implementan en la empresa desde hace aproximadamente dos años. Se han hecho modificaciones de diseño en cuanto a cambios de control mecánico o semiautomático a completamente automático y rediseño de máquinas propias, por motivos tanto de aumento de la producción y mejoramiento de la calidad del producto, como por fallas que se presentaban y se hacían reparaciones continuas sin efecto profundo, como por ejemplo, en la limpieza interna de la máquina inyectora RTM para remover los químicos luego de la inyección, en la apertura y cierre de una válvula que permite y bloquea el paso de los químicos, al dar la orden de inyectar y la pistola de la máquina no estaba conectada al molde, entre otras.</p> <p>En otros equipos se han hecho modificaciones para mejorar la seguridad de los empleados y del medio ambiente. Este es el caso de las máquinas pulidoras, donde se instalaron guardas de seguridad, sistemas de captación de polvo y conexiones eléctricas para un mejor control del encendido y apagado de la máquina.</p> <p>Para el proceso de mantenimiento es vital revisar cada equipo y buscar aspectos a modificar para mejorar los tres aspectos mencionados anteriormente; en las modificaciones trabajan en equipo el proceso de mantenimiento, el de producción y el de diseño.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar? <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No </div>			
Si la respuesta es no, ¿por qué? <div style="border: 1px solid black; height: 20px; margin-top: 5px;"></div>			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Revisión exhaustiva de las acciones preventivas

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Acciones preventivas		
1. Fase o etapa:	<input checked="" type="checkbox"/> Desarrollo	<input checked="" type="checkbox"/> Implementación	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input checked="" type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve: <p>Este elemento se encuentra en las tres etapas: desarrollo, implementación y ninguna. Dos equipos críticos se encuentran en una etapa media de implementación y otros dos en etapa baja de implementación. La mayoría de los equipos críticos se encuentran en la etapa de desarrollo, pues apenas se están definiendo los planes de mantenimiento preventivo. Para estos equipos se llevan a cabo acciones preventivas, pero no son sistemáticas; como por ejemplo la limpieza e inspección visual, la lubricación, cambios de pequeñas partes y ajustes menores, control de fugas. Otros equipos de planta no cuentan con planes ni rutinas de inspección de mantenimiento preventivo.</p> <p>En la inyectora RTM se han hecho revisiones periódicas para los o-rings, empaques y resortes de uno de sus sistemas, a partir de las cuales se toman decisiones para el cambio sistemático, pero no siempre se llevan a cabo de forma estricta.</p> <p>Algo muy interesante en este elemento es que en la empresa conocen qué equipos son críticos, pero no se tiene un estudio técnico de su criticidad, donde se evalúen aspectos de seguridad, medio ambiente, producción, calidad y mantenimiento.</p> <p>El proceso de mantenimiento tiene como meta para finales de junio tener el estudio técnico de la criticidad de los equipos, para finales de septiembre tener creados los planes de mantenimiento preventivo para el 50% de sus equipos críticos y principalmente, y cumplir de manera estricta con</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar? <input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué? <div></div>			

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. Revisión exhaustiva de acciones predictivas

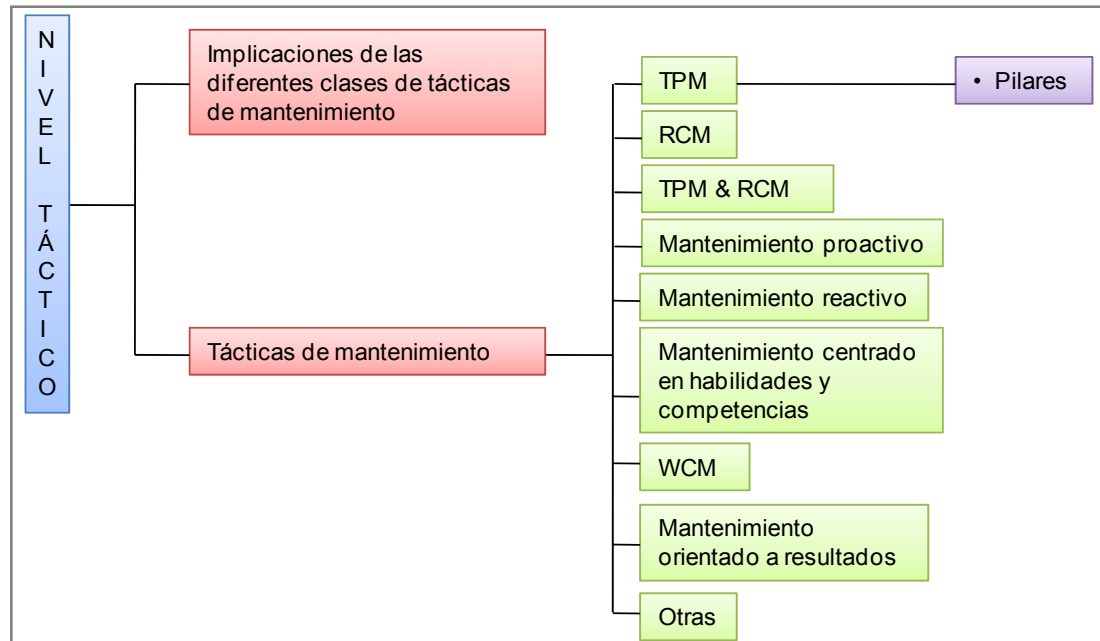
REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Acciones predictivas</div>		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input type="checkbox"/> Implementación	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Descripción breve:</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>No se llevan a cabo acciones predictivas actualmente. Sin embargo, existe un gran número de variables a seguir en diversos equipos como lo son: presión, temperatura, vibraciones, caudal, calidad de los lubricantes, etc. El ultrasonido resulta muy adecuado y efectivo para el mantenimiento e instalación de las redes y sistemas neumáticos; una de las principales fuentes de energía del sistema productivo.</p> <p>Recientemente, se han adquirido equipos de gran tecnología que permiten una comunicación en tiempo real para el seguimiento de variables y su posterior análisis, pero aún no se han hecho las comunicaciones con los equipos de computación.</p> </div>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input checked="" type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No </div>			
Si la respuesta es no, ¿por qué? <div style="border: 1px solid black; height: 20px; margin-top: 5px;"></div>			

Fuente: elaboración propia

6.2.1.3. Nivel táctico. El nivel táctico corresponde al tercer nivel del enfoque sistémico kantiano de mantenimiento. Éste abarca las diferentes formas de organización que puede adoptar la empresa para planear, ejecutar y administrar el mantenimiento que se aplica a los equipos de generación de bienes y/o servicios para alcanzar un fin, siguiendo las normas, leyes o reglas que gobiernan la forma de actuar.

La táctica hace referencia a los métodos o acciones aplicadas para llevar a cabo una estrategia o plan general. La figura 13 presenta un esquema general con los elementos a estudiar en este tercer nivel.

Figura 13. Esquema general de los elementos del nivel táctico



Fuente: (Mora, 2009)

Las tácticas internacionales más reconocidas son *TPM*, *RCM*, *TPM* y *RCM* combinados, mantenimiento proactivo, mantenimiento reactivo, *WCM*, mantenimiento orientado a resultados y mantenimiento centrado en habilidades y competencias. Las empresas que cumplen adecuadamente con los niveles instrumental y operacional, tienen su propia táctica de mantenimiento que puede llegar a ser la mejor opción de este nivel.

La implementación de cualquiera de las tácticas que se mencionan, requiere previamente de dos aspectos fundamentales:

- ☐ La culminación del desarrollo de los niveles uno y dos en la empresa.
- ☐ El diagnóstico inicial del nivel de desarrollo del mantenimiento en la empresa, por medio de la implementación de las metodologías *Flash Audit*, Método Jerárquico Analítico de componentes principales u otra similar.

Las características de cada táctica permiten que estas se acomoden mejor a la empresa de acuerdo a sus exigencias y circunstancias. La valoración de su beneficio se hace en el nivel siguiente y responde al logro de los objetivos propuestos, de acuerdo a la misión, la visión y las circunstancias propias de la empresa que las desarrolla (Mora, 2007b).

- *TPM* – Mantenimiento y manejo productivo total: la tendencia hacia la automatización, combinada con la producción *Just in time*, estimula el interés en mejorar la gestión de mantenimiento en las industrias de manufactura. Esto da origen al enfoque japonés *TPM*, que es una forma de mantenimiento productivo rápido y eficiente que involucra a todos los empleados de la empresa, desde los operarios hasta la alta dirección.

El *TPM* se fundamenta en la satisfacción del cliente, dominio de los procesos y sistemas de producción, implica a personas a través del mantenimiento autónomo¹⁹ y el aprendizaje y la mejora continua. Su popularidad radica en que garantiza drásticos resultados, transforma visiblemente los lugares de trabajo y eleva el nivel de conocimiento y capacidad de los empleados del área de producción y mantenimiento.

La política del mantenimiento o manejo productivo total debe ser parte integral de la política global de la empresa y debe indicar los objetivos, metas y directrices de las actividades a realizar. La elaboración de un plan maestro de implantación incluye la selección de las actividades a poner en práctica para lograr los objetivos del *TPM*.

Las ocho actividades nucleares o pilares tradicionales se observan la figura 14.

¹⁹ Actividades de mantenimiento que realizan los operadores de las máquinas de acuerdo a un cronograma y un procedimiento.

Figura 14. Pilares del *TPM*



Fuente: (Kogyono, 1995)

Los resultados del *TPM* son principalmente la reducción de averías de los equipos, la minimización de los tiempos en vacío y pequeñas paradas, la disminución de defectos y reclamaciones de calidad, la elevación de la productividad, la reducción de los costes de personal, inventarios y accidentes, y la promoción de la implicación de todos los empleados, que se refleja en el incremento de las sugerencias de mejora para la empresa.

Esta táctica tiene un perfil humano y favorece la relación entre el recurso humano en producción y en mantenimiento; es la base fundamental para el desarrollo de otras tácticas de mantenimiento como lo son el *RCM* y el Mantenimiento Proactivo (Kogyono, 1995).

- *RCM* - Mantenimiento centrado en la confiabilidad: el *RCM* es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados y efectivos, que se basan en la confiabilidad de los equipos en función del diseño y de la construcción de los mismos. Surge a principios de los años sesenta con la industria de la aviación civil norteamericana, específicamente con la ATA (Air Transport Association) en Washington (USA) en 1968.

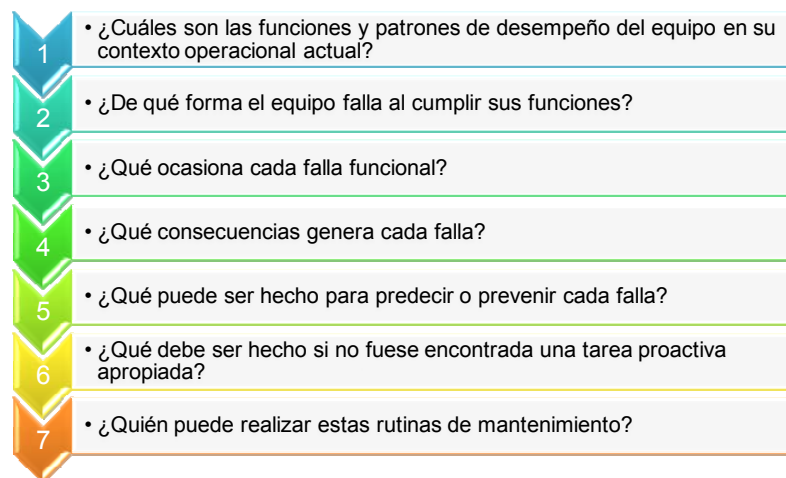
El Mantenimiento centrado en la confiabilidad se fundamenta en la evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función, la identificación de los componentes

críticos, la aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo y, en el chequeo en sitio y en operación del estado corpóreo y funcional de los elementos mediante permanente revisión y análisis. Algunos objetivos del *RCM* son:

- ☐ Saber cuándo, dónde y cómo se debe realizar el mantenimiento en un equipo o sistema, con el objetivo primordial de que siga cumpliendo con sus funciones o estándares de ejecución determinados para el equipo.
- ☐ Suministrar fuentes de información de la capacidad de producción de la planta a través del estado de sus equipos para anticipar y planificar con precisión las necesidades de mantenimiento.
- ☐ Permitir a producción y mantenimiento una acción conjunta y sincronizada a la hora de programar y mantener la capacidad de producción de la planta.
- ☐ Eliminar las fallas de los equipos para minimizar los costos de mano de obra de reparaciones y reducir el presupuesto de mantenimiento (Mora, 2009).

El proceso *RCM* proporciona siete preguntas que se deben efectuar respecto al equipo que se selecciona para trabajar. Ver figura 15.

Figura 15. Siete preguntas del *RCM*



Se ha constatado que el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es una metodología muy compleja y poderosa utilizada en la determinación de planes de mantenimiento; compleja debido a que se necesita tener un profundo conocimiento del sistema o ítem a analizar; poderosa porque bien manejada y aplicada con las correctas herramientas, los resultados son muy satisfactorios, principalmente cuando una empresa quiere optimizar los recursos empleados para el mantenimiento. Su aplicación debe estar destinada a los equipos más críticos del sistema productivo (Taco Villalba & Cela Andagoya, 2000).

El *RCM* aumenta la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, pero se observa su limitación en el factor humano con que cuenta la empresa, ya que el equipo natural es el responsable de divulgar de manera correcta y eficiente esta filosofía, de manera que las personas involucradas con el *RCM* vean este cambio como una solución a sus problemas, y no como uno más de ellos (Mora, 2009).

- *TPM* y *RCM* combinados: la combinación de estas dos tácticas, que se hace más común día a día en las empresas modernas que desarrollan el tercer nivel de mantenimiento, garantiza una excelente operación y gestión del mantenimiento. Ambas son excluyentes y complementarias, por un lado el *TPM* maneja el recurso humano para mejorar la productividad y, por el otro, el *RCM* relaciona la tecnología y la logística para aumentar la confiabilidad y la competitividad.

Esta táctica requiere de un desarrollo de mediano plazo, entre aproximadamente cinco y seis años, una vez los niveles uno y dos están sólidos (Mora, 2009). El *RCM* permite determinar los requerimientos de mantenimiento para operaciones físicas con su respectivo contexto operativo tecnológico y el *TPM* facilita la difusión de estos requerimientos de forma efectiva y económica (Geraghty, 1996).

- Mantenimiento proactivo: el mantenimiento proactivo es una táctica que se basa en el diagnóstico y las tecnologías predictivas para la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y llevan a la falla del equipo, con el fin de aumentar la vida útil de estos y disminuir las tareas de mantenimiento (Mora, 2007b).

Los principales objetivos del mantenimiento proactivo son identificar y eliminar las causas básicas, inmediatas y raíces de las fallas, o bien, mantener los parámetros de causas de falla dentro de límites aceptables, es decir, dentro del rango de severidad operacional que conduce a una vida adecuada del componente en servicio. Para esto, el personal debe comprender los principios de funcionamiento y características del equipo y llevar estadísticas específicas del monitoreo.

La implantación de esta táctica crea en la empresa un cambio en la conducta y genera innumerables ahorros para la misma, lo cual se refleja en una mayor garantía de la calidad de los equipos, mayor confiabilidad, alta seguridad, gran economía en los costos de mantenimiento y una mejor imagen del cliente (Oiltech, 1995).

La sustitución de una filosofía reactiva por una proactiva es una práctica común alrededor del mundo, ya que permite ahorros valiosos a la empresa que no se logran con las técnicas convencionales de mantenimiento, por medio de la eliminación de condiciones no estándares de falla y del desgaste prematuro de los equipos en operación (Mofsoovich, 1992).

La integración de herramientas del *TPM* y *RCM* se logra mediante la táctica proactiva, la cual tiene la condición de implementarse en etapas en el largo plazo, con lo cual llega a ser muy afectiva (Klusman, 1995).

- **Mantenimiento reactivo:** la táctica de mantenimiento reactivo establece que es posible atender problemas o situaciones complejas en los equipos de manera rápida y oportuna. Es importante aclarar que el mantenimiento reactivo no es un mantenimiento correctivo mejorado, primero porque no hace referencia a las actividades que desarrolla una empresa para organizar sus acciones correctivas deficientes e inadecuadas, y segundo porque las acciones correctivas pertenecen al nivel dos, y éste pertenece al nivel táctico.

El mantenimiento reactivo es ideal para las empresas nuevas que no permanecen mucho tiempo con los mismos equipos, que son desarrolladoras o usuarias de tecnologías avanzadas, o que sus productos y áreas de negocio cambian constantemente (Mora, 2009).

- Mantenimiento centrado en habilidades y competencias: esta táctica se fundamenta en la reducción del personal de mantenimiento y concentrarlo en personas con más habilidades y conocimientos. Las empresas procuran que su recurso humano adquiera esto como una excelente táctica para preservar el conocimiento, lo cual hace que la prestación del servicio no se enfoque en marcas específicas, sino en plantear el desarrollo de habilidades y conocimiento científicos alrededor de las ciencias que imperan el mantenimiento de equipos (Mora, 2009).

- *WCM* – Mantenimiento de clase mundial: el mantenimiento de clase mundial es el proceso de mantenimiento que satisface los requisitos y expectativas, relativas a cada momento del desarrollo de la humanidad y contexto social y de mercado, relacionadas con la seguridad, el medio ambiente, la calidad y la economía. Un mantenimiento de clase mundial implica liderazgo y se debe demostrar su existencia(Sexto@, 2006).

6.2.4. Revisión exhaustiva. A continuación se muestra la revisión exhaustiva de las tácticas de mantenimiento tratadas anteriormente. Ver tabla 22.

Tabla 22. Revisión exhaustiva de las tácticas de mantenimiento

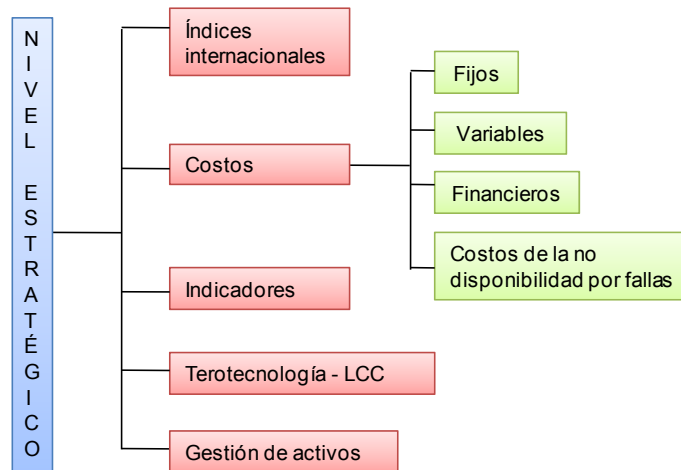
REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Tácticas de mantenimiento		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input type="checkbox"/> Implementación	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
<div style="background-color: #f2f2f2; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Descripción breve:</div> <p>Actualmente, no se tiene ni en desarrollo ni en implementación ninguna táctica de mantenimiento, debido a que apenas se están desarrollando e implementando los niveles instrumental y operacional del enfoque sistémico, los cuales son las bases para cualquier táctica. A largo plazo se desea implementar el mantenimiento proactivo o el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, especialmente éste último, pues sería de gran utilidad gracias a que es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados y efectivos, que reduzcan las fallas en el sistema productivo, que frecuentemente se presentan o ponen en riesgo la seguridad y la calidad. La principal ventaja de su implementación es que el proceso de producción es en su mayoría automático, y cualquier falla en uno de los sistemas genera un paro en cadena, además de las graves consecuencias en cuanto a averías, accidentes y daños al medio ambiente por el tipo de materia prima que se maneja en el proceso productivo.</p> <p>Las demás tácticas no se planean implementar por el momento. Sin embargo, hay elementos del TPM muy útiles que se pueden implementar de manera independiente, como el mantenimiento autónomo, las mejoras orientadas, lecciones de un punto y gestión de seguridad, higiene y medio ambiente. El mantenimiento planeado se puede mejorar a partir de lo que se tiene desarrollado y</p>			
<p>3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input checked="" type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input checked="" type="checkbox"/> No </div>			
<p>Si la respuesta es no, ¿por qué?</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-top: 5px;"> <p>No se planea implementar el mantenimiento reactivo porque es una táctica ideal para las empresas nuevas que no permanecen mucho tiempo con los mismos equipos, que son desarrolladoras o usuarias de tecnologías avanzadas, o que sus productos y áreas de negocio cambian constantemente.</p> </div>			

Fuente: elaboración propia

6.2.1.4. Nivel estratégico. El nivel estratégico corresponde al cuarto nivel del enfoque sistémico kantiano y abarca los índices y costos del mantenimiento. Éste permite valorar la operación y gestión integral del mantenimiento en la empresa por medio del uso de índices y metodologías de validez de aceptación mundial, además de determinar el grado de éxito que alcanza la empresa al cumplir con el desarrollo de los niveles instrumental, operacional y táctico.

La figura 16 presenta un esquema general con cada uno de los elementos a estudiar en este cuarto nivel.

Figura 16. Esquema general de los elementos del nivel estratégico



Fuente: (Mora, 2009)

▪ **Índices internacionales:** las únicas medidas técnicas y científicas, que se fundamentan en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos que tiene el mantenimiento para su análisis y evaluación integral y específica, son la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. Estos tres indicadores permiten planear, ejecutar y controlar totalmente la gestión y operación del mantenimiento.

Disponibilidad: los equipos se diseñan para cumplir una función específica en una empresa y la probabilidad de que éste funcione o esté listo para trabajar después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, se conoce como la disponibilidad. El tiempo total a considerar incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de mantenimiento planeado, tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico.

El cálculo de la disponibilidad de un equipo es fundamental antes de comenzar a estudiar los elementos de los niveles instrumental, operacional, táctico y estratégico, ya que ubica

al equipo en un punto de partida para establecer objetivos alcanzables y planear así las acciones a llevar a cabo en la gestión del mantenimiento. La disponibilidad, además, facilita la toma de decisiones con respecto a la adquisición de un elemento entre varias posibles alternativas.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo en que el dispositivo funciona correctamente}}{\text{Tiempo en que el equipo puede operar}}$$

Existen diferentes tipos de disponibilidades con características específicas para cada una de ellas. La elección de la disponibilidad más adecuada depende de los datos que posea la empresa y de las expectativas que tenga, acorde con los elementos que desea controlar. Cada una se describe a continuación y se presenta la fórmula de cálculo.

- Disponibilidad genérica AG: comprende sólo los tiempos totales de funcionamiento y de no disponibilidad. Debe usarse entre dos y n eventos. Es útil para organizaciones que no predicen ni manejan CMD²⁰; la información con la que se dispone sólo contempla los tiempos útiles y los de no funcionalidad y es muy adecuada para iniciar pruebas piloto.

$$A_G = \frac{\Sigma UT}{\Sigma UT + \Sigma DT} = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

Donde,

UT: Up Time = Tiempo útil en el que el equipo funciona correctamente

DT: Down Time = Tiempo no operativo del equipo

MUT: Mean Up Time = Tiempo medio de funcionamiento entre fallas

MDT: Mean Down Time = Tiempo medio de no funcionamiento entre fallas

- Disponibilidad inherente o intrínseca AI: se basa únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación. Se debe cumplir que los tiempos de funcionamiento sean muy superiores (mayor o igual a ocho veces) en tiempo a

²⁰ Confiabilidad – Mantenibilidad - Disponibilidad

los tiempos medios para reparar y que el tiempo no operativo tienda a cero en el tiempo. Es útil cuando se quiere controlar las actividades correctivas y/o modificativas).

$$A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde,

MTBF: Mean Time Between Failures = Tiempo medio entre fallas

MTTR: Mean Time To Repair = Tiempo medio para reparar

- Disponibilidad alcanzada AA: considera las reparaciones y los mantenimientos planeados, separando los tiempos por reparaciones dentro de los mantenimientos planeados. Se usa cuando la empresa quiere controlar las tareas planeadas de mantenimiento (tareas proactivas: preventivas o predictivas) y las correctivas por separado.

Los mantenimientos planeados en exceso pueden hacer que disminuya la disponibilidad alcanzada, aún cuando puede incrementar el tiempo medio entre mantenimientos.

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}}$$

- Disponibilidad operacional AO: se basa en tiempos de reparación, de mantenimientos planeados, tiempos logísticas, y tiempos administrativos, etc. Es útil cuando se quiere vigilar de cerca los tiempos de demoras logísticas (tiempos logísticos + tiempos administrativos). Su implementación es exigente y requiere de bastantes recursos económicos.

$$A_O = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}'}$$

- Disponibilidad operacional generalizada AGO: se usa cuando los equipos tienen mucho tiempo de operación en que funcionan pero no producen (*Ready Time*) o trabaja en vacío. Se calcula de la misma forma que la disponibilidad operacional, adicionando el *Ready Time* a los tiempos útiles más cercanos.

Es la más compleja y completa de todas, pero también la más exigente y costosa de implementar, además de que le empresa debe tener ya mucha experiencia en el tema (Mora, 2009).

$$A_{GO} = \frac{MTBM'}{MTBM' + \bar{M}'}$$

Donde,

MTBM: *Mean Time Between Maintenance* = Tiempo medio entre mantenimientos

\bar{M} : Mean Active Maintenance Time = Tiempo medio de mantenimiento active requerido

La tabla 23 representa de una manera sencilla la comparación entre los tiempos que utiliza en su cálculo cada disponibilidad.

Tabla 23. Cuadro comparativo de disponibilidades

Cuadro comparativo de disponibilidades								
Tipo de disponibilidad	Tiempo de funcionamiento <i>UT</i>	Tiempos de no disponibilidad generalizados <i>DT</i>	Tiempos de no disponibilidad especificados					
			Reparaciones <i>TTR</i>	Mttos. Planeados <i>PM</i>	Logísticos* <i>LDT'</i>	Administrativos <i>ADT</i>	Demoras logísticas* <i>LDT</i>	Ready Time* <i>RT</i>
Genérica								
Inherente o Intrínseca								
Alcanzada								
Operacional								
Operacional generalizada								

Sí incluye	
No incluye	

*Logísticos: preparación, suministro de repuestos, herramientas o recursos humanos

*Ready time: tiempo en el que el equipo está disponible pero no produce.

Demoras logísticas $LDT = LDT' + ADT$ (todo lo que impida la ejecución de un mantenimiento)

Fuente: (Mora, 2009)

La disponibilidad de las instalaciones de producción es un problema cada vez más preocupante en las industrias que se encuentran en proceso de automatización, tanto con medios tradicionales como mediante el uso de la robótica. Los ingenieros, técnicos y profesionales del mantenimiento son personas capaces de responder a este desafío permanentemente gracias a su conocimiento de los problemas, su experiencia y su proceso de razonamiento. Sin embargo, a veces faltan instrumentos y métodos para la solución de problemas que generan la indisponibilidad de los equipos o las instalaciones.

El autor Jean Paul Souris plantea en su libro *El Mantenimiento, fuente de beneficios*, los siete instrumentos del mantenimiento, entre los cuales cabe resaltar en este punto el análisis de las indisponibilidades de los equipos de producción. Consiste en determinar con gran precisión las causas de indisponibilidad de los equipos, en cuantificarlas y en proponer ejes de mejora que permitan eliminarlas o atenuar sus consecuencias.

La distribución de los tiempos de interrupción por su origen y su cuantificación permite calcular y poner en marcha las correspondientes mejoras, teniendo en cuenta las modalidades del retorno de la inversión antes de invertir en dichas mejoras (Souris, 1992).

Confiabilidad: la confiabilidad de un equipo es una medida en que este desempeña satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, bajo condiciones de operación, ambientales y de entorno adecuadas por un período de tiempo determinado. Es la interacción entre producción y el equipo. Es una característica propia del equipo o sistema y es responsabilidad de producción. La función de confiabilidad permite responder a la pregunta: ¿cuál es la probabilidad de que un equipo dure más de T horas sin fallar?

La presencia de fallas en un equipo determina la confiabilidad del mismo, de tal modo que a mayor número de fallas, menor confiabilidad presenta, pero a menor número de fallas, resulta más confiable para la empresa. La calidad de los productos que se fabrican con un equipo específico depende en gran medida de la confiabilidad de éste (Mora, 2009).

La historia revela que no es posible que exista un equipo que durante toda su vida de operación mantenga un nivel de confiabilidad del cien por ciento, sin embargo, si es posible llevar a cabo actividades de mantenimiento enfocadas a incrementar al máximo la

confiabilidad de los equipos, con el fin de evitar los efectos negativos de un inadecuado servicio de mantenimiento y para suplir las necesidades del mercado interno, debido a que es importante que los equipos tengan largos periodos de operación, para evitar pérdidas de tiempo, altos costos, mayor número de repuestos, riesgos en la vida de las personas y en el medio ambiente (Rengifo & Valencia, 2009).

En relación a la disponibilidad y la confiabilidad, cierto número de experiencias industriales han demostrado que la regularidad de producción es un parámetro importante en el aseguramiento de la calidad del producto o servicio. Por ejemplo en las instalaciones más automatizadas se ha podido comprobar que la ausencia de fallas en un equipo implica un lote de piezas sin defectos de calidad estándar (Souris, 1992).

Mantenibilidad: la mantenibilidad, de acuerdo a Kant, es la interacción entre mantenimiento y los equipos. Estos tienen un tiempo de funcionamiento adecuado y cuando fallan se debe reparar bajo ciertas condiciones.

La probabilidad de que un equipo pueda regresar a su estado de referencia en el que genera bienes o servicios después de una falla, avería o interrupción productiva, mediante una reparación que implica la realización de unas tareas de mantenimiento para eliminar las causas inmediatas que generan la falla, se le conoce como mantenibilidad. Esta es responsabilidad de mantenimiento, es una característica propia del recurso humano y una medida vital para la predicción, evaluación, control y ejecución de las tareas correctivas o proactivas; permite mejorar los tiempos y las frecuencias de ejecución de acciones de mantenimiento en equipos.

El cálculo de la mantenibilidad contempla todas las características y hechos previos ocurridos antes de alcanzar el estado de normalidad. El diseño y el montaje, la operación y capacidad de operación, las habilidades de los operarios, las modificaciones realizadas y las reparaciones anteriores, a confiabilidad, a limpieza y los mantenimientos realizados a lo largo de la vida útil del equipo y la calidad de los repuestos, las herramientas, el personal y la información adecuada, el entorno, la legislación pertinente, el impacto ambiental que genera, entre otros afectan directamente el grado de mantenibilidad de un equipo.

En síntesis, la confiabilidad se mide a partir del número y duración de las fallas; la mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y de la duración de las reparaciones; y la disponibilidad se mide a partir de la confiabilidad y la mantenibilidad (Mora, 2009). La ecuación general que relaciona la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad es la siguiente:

$$Disponibilidad = \frac{Confiabilidad}{Confiabilidad + Mantenibilidad}$$

- **Costos:** los costos de mantenimiento se pueden clasificar en cuatro grupos: los costos fijos, los variables, los financieros y los de la no disponibilidad por falla; la suma de los cuatro costos entrega el costo integral de mantenimiento.

Costos fijos: los costos fijos son los costos por la mano de obra y materiales necesarios para realizar los mantenimientos proactivos y no dependen del volumen de producción o servicios que se hagan. La planeación adecuada de los mantenimientos planeados en base a los indicadores CMD, permite su control. Se considera como un gasto que asegura el estado de la instalación a mediano y largo plazo.

Las empresas, en ocasiones, deciden recortar el presupuesto para los mantenimientos planeados, lo que lleva en la mayoría de los casos a un estado de mayor incertidumbre sobre el estado del equipo al tener que disminuir la frecuencia de las inspecciones, lubricaciones, ajustes básicos y mediciones; como consecuencia se tiene menor control del sistema productivo y de su capacidad real.

Costos variables: los costos variables son los costos por acciones imprevistas y tienden a ser proporcionales a la producción. La energía eléctrica, los combustibles, las fallas o reparaciones no planeadas, los mantenimientos correctivos y modificativos, y los costos en materiales, repuestos y mano de obra que estos involucran, hacen parte de los costos variables de mantenimiento. Estos costos se controlan mediante la aplicación de análisis de fallas, *FMECA*, *RPN*, análisis predictivo, entre otros, y el apoyo de los indicadores CMD (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

Costos financieros: los costos financieros corresponden a los costos de los repuestos, de la doble maquinaria o planta, de la herramienta, a la no disponibilidad de algunos repuestos push, y el más importante, al costo de ciclo de vida.

Costos de la no disponibilidad por falla: el costo de la no disponibilidad o pérdida de la funcionalidad por daño en el equipo, es el costo de la gerencia en planta y es el más costoso de los cuatro. Generalmente este no se mide, pero sí existe y cuando el equipo está parado, la empresa deja de generar ingresos por un lado, y por el otro, los operarios se desmotivan porque no pueden producir y deben trabajar en labores para las cuales no fueron contratados y en la mayoría de los casos se ven afectados psicológicamente. Este es el costo que mayor cuidado requiere. A continuación se muestra la magnitud de los costos de la no disponibilidad por falla (Mora, 2009).

Figura 17. Costos de la no disponibilidad por falla

$$\boxed{\text{Costos de la no disponibilidad por fallas}} = 10 * \left(\boxed{\text{Costos fijos}} + \boxed{\text{Costos variables}} + \boxed{\text{Costos financieros}} \right)$$

Fuente: (Mora, 2009).

Costo integral: el costo integral es el costo que da una idea más global de la gestión de mantenimiento, es más contundente que los costos que lo componen. Este tiene en cuenta todos los factores relacionados con un mantenimiento y las consecuencias alrededor de una avería y no sólo los directamente relacionados con una acción o elemento específico (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

Ejemplo de estos factores son la pérdida de material, el reproceso, la pérdida de productividad en el equipo, los factores nocivos, las micro averías y macro averías, la precaución, las consecuencias, la pérdida de confianza interna, la no seguridad y el respeto de plazos, volúmenes y calidad.

Su validez radica en que comprende la importancia de una buena gestión del mantenimiento. En muchas ocasiones una avería se considera insignificante porque se trata la avería como tal, pero si se analizan los efectos secundarios, se tiene una preocupación más fuerte acerca de la avería y su causa raíz.

Por ejemplo, cuando ocurre un accidente de avión por la falla de una pieza y se presentan pérdidas humanas, el costo integral del mantenimiento, además de incluir la reparación o cambio de la pieza y demás componentes afectados, incluye las demandas, estudios, búsquedas, indemnizaciones, entre otros, debidos a la catástrofe.

- Indicadores: un indicador es una magnitud asociada a una característica (del resultado, del proceso, de las actividades, de la estructura, etc.) que permite a través de su medición en periodos sucesivos y por comparación con el estándar establecido, evaluar periódicamente dicha característica y verificar el cumplimiento de los objetivos (estándares) establecidos (Aiteco, 2006).

Los indicadores deben ser contruidos teniendo en cuenta el espacio, el contexto, la especificación y el proceso a evaluar. Los indicadores contruidos deben ser válidos (reflejar y medir resultados), explícitos (definir claramente las variables a analizar), sensibles (reflejar el cambio en las variables), excluyentes (omitir cualquier variable o indicador redundante), relevantes (ser efectivos para la toma de decisiones), representativos (expresar claramente el significado de determinada variables) y pocos (para facilitar su integración o ponderación) (Barbosa, 2001).

A continuación se mencionan algunos indicadores de gestión y operación útiles para el proceso de mantenimiento. Ver figura 18.

Figura 18. Indicadores para la dirección y operativos

Indicadores para la dirección	Indicadores operativos
<input type="checkbox"/> Número de trabajos realizados con su duración <input type="checkbox"/> Número de trabajos pendientes con su valoración en horas <input type="checkbox"/> Objetivos parciales o totales logrados <input type="checkbox"/> Disponibilidad media de cada equipo <input type="checkbox"/> Costos por mano de obra propia y subcontratada por órdenes de trabajo hechas <input type="checkbox"/> Costos mensuales de mantenimiento clasificado por rubros <input type="checkbox"/> Horas totales de paro por mantenimiento	<input type="checkbox"/> Curvas de intervención contra tiempo y gastos <input type="checkbox"/> Trabajos sin realizar y pendientes <input type="checkbox"/> MTTR y MTBF frente a tiempo y costos <input type="checkbox"/> Fallas y reparaciones repetitivas <input type="checkbox"/> Disponibilidad y confiabilidad de cada equipo comparada en el tiempo <input type="checkbox"/> Carga de trabajo, órdenes de trabajo en proceso, terminadas y correcciones por trabajador y área. <input type="checkbox"/> Repuestos e insumos consumidos por trabajo

Fuente: (Mora, 2009) y (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997)

▪ **Terotecnología:** la terotecnología se define como la ciencia integradora de todos los aspectos del enfoque kantiano de mantenimiento, ya que relaciona la gestión y operación del mantenimiento orientada por la técnica y la logística integral de los equipos, e integra los cuatro niveles junto con sus elementos estructurales y sus relaciones gobernadas por las leyes CMD.

La Terotecnología es el apoyo del costo económico integral del ciclo de vida (*LCC – Life Cycle Cost*) y a partir de allí se establecen los indicadores sobresalientes de mantenimiento efectividad, *LCC* y *CMD*.

▪ **Gestión de activos:** el control de los costos de los equipos durante su ciclo integral de vida se logra a través de la gestión de activos y del *LCC* o costo de ciclo de vida, implementando indicadores estratégicos de *LCC*, *CMD* y costos integrales. La implementación de la gestión de activos permite la reducción de costos en la gestión y operación del mantenimiento, el aumento de la disponibilidad de los sistemas productivos, el incremento de la vida útil de los activos y la disminución de los niveles de inventarios de repuestos en insumos de mantenimiento (Mora, 2009).

6.2.5. Revisión exhaustiva. A continuación se presentan las revisiones exhaustivas para los elementos integrantes del nivel estratégico del enfoque sistémico kantiano. Ver tablas 24, 25 y 26.

Tabla 24. Revisión exhaustiva de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad		
1. Fase o etapa:	<input checked="" type="checkbox"/> Desarrollo	<input type="checkbox"/> Implementación	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input checked="" type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:			
<p>Disponibilidad: la empresa no tiene en el momento ninguna disponibilidad medida. Se encuentra en la etapa de recolección de datos para medir las disponibilidades de los equipos. De acuerdo a las órdenes de trabajo y los registros con los que cuenta, está en capacidad de iniciar la medición de la disponibilidad genérica en la mayoría de los equipos. El registro de los tiempos de las actividades de mantenimiento correctivo y preventivo, a pesar de que existe, debe ser más preciso y se deben diferenciar las actividades correctivas dentro de los mantenimientos programados, para poder medir la disponibilidad inherente y alcanzada.</p> <p>Algunas actividades de mantenimiento no se hacen bajo una orden de trabajo o solicitud, por lo que no se registran los tiempos y por consiguiente, no sería posible calcular la disponibilidad. Es necesario que toda actividad se haga bajo una solicitud específica o una orden de trabajo, de tal forma que se puedan registrar todos los tiempos y tener los datos suficientes, constantes y exactos para cada equipo.</p> <p>Confiabilidad y mantenibilidad: no se tiene ningún tipo de medición o acercamiento a estos. Sí se planea desarrollar e implementar, pero a corto-mediano plazo.</p> <p>Para el cálculo del CMD se deben medir y registrar de manera estricta los tiempos de funcionamiento y de no funcionamiento por mantenimiento.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input checked="" type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué?			
<div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>			

Fuente: elaboración propia

Tabla 25. Revisión exhaustiva de costos fijos, variables, financieros, de no disponibilidad de equipos e integral

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Costos fijos, variables, financieros, de no disponibilidad e integral.		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input type="checkbox"/> Implementación	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:			
<p>El proceso de mantenimiento no conoce sus costos en detalle, pero sí tiene un acercamiento a los costos globales a través de los presupuestos y a la contabilidad que se lleva. Aunque esta última no es muy confiable, ya que la llevan de forma desorganizada y cargan rubros que no corresponden al mantenimiento.</p> <p>El presupuesto de mantenimiento está dividido en cuatro grupos: repuestos, consumibles, herramienta y mano de obra; cada grupo contiene sus ítems pero no se especifica muy claramente qué ítem corresponde a qué tipo de trabajo y mantenimiento, si es preventivo o correctivo. Algunos ítems de la mano de obra si están diferenciados, pero en general todo se maneja de manera global. Por medio del presupuesto se estiman los costos del mantenimiento y su porcentaje dentro de los costos globales de la empresa.</p> <p>Dentro de la Orden de Trabajo se encuentra una sección donde se especifican los materiales y repuestos consumidos durante una intervención, pero no se asigna un espacio para especificar el costo unitario y total de estos. Otra sección que se encuentra es la mano de obra usada, se especifica el responsable y la duración de la actividad de mantenimiento; pero en ésta tampoco se asigna un campo para detallar el costo unitario y el costo total de la mano de obra.</p> <p>En ningún momento se ha calculado el costo integral de mantenimiento, y es fundamental que lo consideren dentro de la estructura de costos de mantenimiento porque hacen reflexionar y reaccionar acerca de su gestión.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input type="checkbox"/> Si, a corto plazo	<input checked="" type="checkbox"/> Si, a mediano plazo	<input type="checkbox"/> Si, a largo plazo	<input type="checkbox"/> No
Si la respuesta es no, ¿por qué?			

Fuente: elaboración propia

Tabla 26. Revisión exhaustiva de indicadores, terotecnología y gestión de activos

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	Indicadores, terotecnología y gestión de activos		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input type="checkbox"/> Implementación	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve: <p>No se tiene ningún tipo de indicador de mantenimiento ni se calcula el costo del ciclo de vida de los equipos. El proceso aún no ha alcanzado este nivel de gestión. El seguimiento de indicadores se puede iniciar ahora, pero se requiere mayor rapidez en la adquisición y registro de los datos, mayor seguridad y exactitud.</p> <p>Debido a que no se ha alcanzado ninguno de los niveles de mantenimiento del enfoque sistémico kantiano en un cien por ciento y no se tienen los cálculos CMD, no es factible que lleven a cabo la Terotecnología.</p>			
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar? <input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input checked="" type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input checked="" type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué? <div></div>			

Fuente: elaboración propia

7. REVISIÓN EXHAUSTIVA DEL NIVEL DE MANTENIMIENTO

7.1. IMPLEMENTACIÓN

La primera etapa para el reconocimiento de la gestión y el estado de los niveles de mantenimiento instrumental, operacional, táctico y estratégico dentro la empresa se hizo a partir de la revisión exhaustiva.

La revisión exhaustiva es una metodología propia, donde se evalúa de manera objetiva, cada uno de los principales fundamentos de mantenimiento descritos en el capítulo número seis del proyecto. Es el complemento para la evaluación del mantenimiento en la empresa, y a diferencia de la metodología *Flash Audit*, es flexible y profundiza más en cada aspecto.

En cuanto al desarrollo, a medida que se identificaban los principales fundamentos de mantenimiento en cada nivel, se efectuaba inmediatamente la revisión para que el lector se mantuviera conectado con la teoría y la práctica; esto se puede observar desde la página No. 26. Los pasos para la implementación de esta metodología fueron:

1. Identificación del elemento de mantenimiento a evaluar.
2. Determinación de la fase o etapa: desarrollo, implementación o ninguno.
3. Establecimiento del nivel o estado de la fase: alto, medio o bajo.
4. Descripción breve de la situación actual del elemento de mantenimiento.
5. Indagación a cerca de los planes de desarrollo e implementación a futuro y su proyección, en caso de que el nivel de desarrollo e implementación diera como resultado ninguno.
6. Justificación ante una negativa de planes de desarrollo e implementación.

Para la revisión se creó un formato que fuera fácil de llenar, de reconocer y de comprender. Ver figura 19.

Figura 19. Formato para la revisión exhaustiva

REVISIÓN EXHAUSTIVA			
Elemento a evaluar:	<div style="border: 1px solid black; height: 15px; width: 100%;"></div>		
1. Fase o etapa:	<input type="checkbox"/> Desarrollo	<input checked="" type="checkbox"/> Implementación	<input type="checkbox"/> Ninguno
2. Nivel o estado de la fase:	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio	<input checked="" type="checkbox"/> Bajo
Descripción breve:	<div style="border: 1px solid black; height: 60px; width: 100%;"></div>		
3. Si la respuesta a la pregunta No. 1 fue ninguno, ¿se planea desarrollar e implementar?			
<input type="checkbox"/> Si, a corto plazo <input type="checkbox"/> Si, a mediano plazo <input type="checkbox"/> Si, a largo plazo <input type="checkbox"/> No			
Si la respuesta es no, ¿por qué?			
<div style="border: 1px solid black; height: 15px; width: 100%;"></div>			

Fuente: elaboración propia

7.2. RESULTADOS

Los resultados de la revisión exhaustiva se resumen en la tabla 27. En ella se presenta el elemento de mantenimiento evaluado (en el mismo orden en que se presenta en el documento), la fase o etapa y estado en que se encuentra actualmente en el proceso de mantenimiento de la empresa y por último, se especifica si se planea desarrollar o implementar cada elemento y con qué proyección.

Tabla 27. Resumen de resultados de la revisión exhaustiva

No.	Revisión exhaustiva	Fase o etapa	Estado de la fase	Se planea desarrollar o implementar
1	Estructura organizacional y del organigrama	D	Medio	N/A
2	Organización y los objetivos del proceso de mantenimiento	I	Alto	N/A
3	Sistema de información	D	Bajo	N/A
4	Recurso humano	D, I	Medio-Alto	N/A
5	Herramientas, repuestos e insumos	D, I	Medio	N/A
6	Capital de trabajo, espacio físico, tecnología y maquinaria	I	Alto	N/A
7	5's y mejora continua	N	N/A	A corto y mediano plazo
8	Análisis de fallas, RCFA, FMECA y RPN.	N	N/A	A mediano plazo
9	Gestión y manejo de inventarios, repuestos e insumos de mantenimiento	I	Bajo-Medio	N/A
10	Subcontratación	I	Bajo	N/A
11	Acciones correctivas	I	Alto	N/A
12	Acciones modificativas	I	Medio	N/A
13	Acciones preventivas	D, I	Medio	N/A
14	Acciones predictivas	N	N/A	A mediano plazo
15	Tácticas de mantenimiento	N	N/A	A largo plazo
16	Disponibilidad / confiabilidad y mantenibilidad	D, N	Bajo	A mediano plazo
17	Costos fijos, variables, financieros, de no disponibilidad de equipos e integral	N	N/A	A corto y mediano plazo
18	Indicadores, terotecnología y gestión de activos	N	N/A	A mediano y largo plazo

La evaluación de la fase o etapa: D: Desarrollo I: Implementación N: Ninguno

Fuente: elaboración propia

La tabla de resultados determina que el los aspectos de mantenimiento más críticos, arrojados por la revisión exhaustiva, son el análisis de fallas, RCFA, FMECA y RPN; las tácticas de mantenimiento y los indicadores, la terotecnología y la gestión de activos.

Se observa también que el 22% de los aspectos de mantenimiento están en desarrollo, el 42% están en implementación y el 36% no están en ninguna etapa. Este último se concentra principalmente en los niveles táctico y estratégico del mantenimiento.

8. REVISIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA *FLASH AUDIT*

8.1. IMPLEMENTACIÓN

La segunda etapa para el reconocimiento del estado de los niveles de mantenimiento instrumental, operacional, táctico y estratégico dentro la empresa se hizo a partir de la revisión de cada uno de los criterios, mediante la utilización de la metodología *Flash Audit*; su definición y metodología de trabajo se definió anteriormente. La figura 20 ilustra de otra manera la forma de trabajar de la metodología




Figura 20. Esquema general de la auditoría



Fuente: elaboración propia

La metodología requiere de cuatro auditados por proceso, pero como se trata de una empresa pequeña, los resultados de la directora del proceso Mantenimiento se repiten para el cuarto auditado de Mantenimiento, de igual forma se hace para el proceso de Producción, y por último, los resultados de los gerentes se repiten para los auditados faltantes de este nivel. A continuación se especifican los nombres, cargos, profesión y antigüedad en el cargo de las personas auditadas. Ver tabla 28.

Tabla 28. Lista de personas auditadas en el *Flash Audit*

Proceso auditado	No.	Nombre de la persona	Cargo	Profesión	Tiempo en el cargo (aprox.)
 MANTENIMIENTO	1.	Catalina Botero Velásquez	Directora de Mantenimiento	Estudiante de Ingeniería Mecánica	2 años y 3 meses
	2.	David Alejandro Zuluaga	Técnico-Almacenista de Mantenimiento	Estudiante de Tecnología en Mecánica Industrial	2 años
	3.	Christian Marcelo Rivas	Técnico de Mantenimiento	Tecnólogo en mecánica Industrial	1 año
 PRODUCCIÓN	1.	Gian Paolo Montoya	Director de Producción	Ingeniero de Producción	2 años y 6 meses
	2.	Néstor Daniel tobón	Supervisor de Producción	Estudiante de Tecnología en Mecánica Industrial	1 año y 5 meses
	3.	Juliana Londoño	Directora de Mejoramiento	Ingeniera de Producción	1 año y 5 meses
 GERENCIA	1.	Juan David Vanegas	Gerente técnico	Ingeniero Mecánico	6 años
	2.	Juan Carlos Cardona Ciro	Gerente administrativo	Administrador de empresas	6 años

Fuente: elaboración propia

8.2. RESULTADOS.

La macro en Microsoft Excel de la metodología *Flash Audit* arroja una serie de resultados donde se observa para cada persona auditada, el puntaje real en porcentaje y el valor en porcentaje por mejorar, para cada uno de los doce instrumentos de mantenimiento que evalúa.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por cada persona auditada por cada instrumento de mantenimiento; el sombreado rojo en los valores por mejorar indica los instrumentos que obtuvieron un valor por encima del promedio, es decir, que son más críticos dentro del proceso de mantenimiento en la empresa. Ver tablas 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 36.

Los resultados totales del *Flash Audit* se resumen en la tabla 37, se observan los puntajes reales y de mejora promedio (en porcentaje) para gerentes, mantenimiento y producción, y los puntajes reales y de mejora (en porcentaje) totales por instrumento.

El sombreado de color verde en los puntajes reales y por mejorar indica que estos instrumentos obtuvieron un puntaje positivo, mientras que el sombreado rojo indica los instrumentos que obtuvieron un puntaje negativo, lo que muestra que son más críticos dentro del proceso de mantenimiento en la empresa.

Los puntajes reales sombreados con gris en cada grupo de auditados revelan los instrumentos que obtuvieron una evaluación por debajo del promedio, es decir, un puntaje negativo; y los puntajes por mejorar sombreados con lila en cada grupo de auditados revelan los instrumentos que obtuvieron una evaluación por encima del promedio, es decir, un puntaje negativo. Las celdas inferiores del extremo derecho indican el puntaje real y por mejorar (en porcentaje) obtenido en promedio por los doce instrumentos de mantenimiento.

Por último se presenta el radar de resultados del *Flash Audit*, en él se observa gráficamente los instrumentos más críticos dentro del proceso de mantenimiento.

A partir de estos resultados se definen los asuntos de potencial importancia y posteriormente se construye el plan de mejoras de mantenimiento.

Tabla 29. Resultados del *Flash Audit* para Mantenimiento 1 y 4

MANTENIMIENTO 1 Y 4		Puntaje Real	Por mejorar
No.	Instrumento de mantenimiento	%	%
1	Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mtto.)	58,82	41,18
2	Percepción de las jerarquías superiores de Mtto.	75,81	24,19
3	Percepción del mantenimiento	76,92	23,08
4	Conocimiento de la Disponibilidad (availability) de equipos	50,00	50,00
5	Conocimiento de los Costos de mantenimiento	22,50	77,50
6	Métodos y preparación de trabajos de mantenimiento	62,88	37,12
7	Planeación de actividades y trabajos de mantenimiento	65,22	34,78
8	Manejo de inventarios	59,82	40,18
9	Qué es lo que cada quién hace en mantenimiento	58,62	41,38
10	Recursos Humanos de Mantenimiento	69,12	30,88
11	Recursos Materiales de Mantenimiento	75,93	24,07
12	Entrenamiento	67,00	33,00
PROMEDIO		61,89	38,11

Tabla 30. Resultados del *Flash Audit* para Mantenimiento 2

MANTENIMIENTO 2		Puntaje Real	Por mejorar
No.	Instrumento de mantenimiento	%	%
1	Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mtto.)	58,82	41,18
2	Percepción de las jerarquías superiores de Mtto.	74,19	25,81
3	Percepción del mantenimiento	75,00	25,00
4	Conocimiento de la Disponibilidad (availability) de equipos	45,45	54,55
5	Conocimiento de los Costos de mantenimiento	22,50	77,50
6	Métodos y preparación de trabajos de mantenimiento	45,45	54,55
7	Planeación de actividades y trabajos de mantenimiento	58,70	41,30
8	Manejo de inventarios	58,04	41,96
9	Qué es lo que cada quién hace en mantenimiento	53,45	46,55
10	Recursos Humanos de Mantenimiento	61,76	38,24
11	Recursos Materiales de Mantenimiento	59,26	40,74
12	Entrenamiento	67,00	33,00
PROMEDIO		56,64	43,36

Tabla 31. Resultados del *Flash Audit* para Mantenimiento 3

MANTENIMIENTO 3		Puntaje Real	Por mejorar
No.	Instrumento de mantenimiento	%	%
1	Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mtto.)	58,82	41,18
2	Percepción de las jerarquías superiores de Mtto.	74,19	25,81
3	Percepción del mantenimiento	75,00	25,00
4	Conocimiento de la Disponibilidad (availability) de equipos	45,45	54,55
5	Conocimiento de los Costos de mantenimiento	17,50	82,50
6	Métodos y preparación de trabajos de mantenimiento	41,67	58,33
7	Planeación de actividades y trabajos de mantenimiento	54,35	45,65
8	Manejo de inventarios	58,04	41,96
9	Qué es lo que cada quién hace en mantenimiento	53,45	46,55
10	Recursos Humanos de Mantenimiento	61,76	38,24
11	Recursos Materiales de Mantenimiento	59,26	40,74
12	Entrenamiento	67,00	33,00
PROMEDIO		55,54	44,46

Tabla 32. Resultados del *Flash Audit* para Producción 1 y 4

PRODUCCIÓN 1 Y 4		Puntaje Real	Por mejorar
No.	Instrumento de mantenimiento	%	%
1	Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mtto.)	76,47	23,53
2	Percepción de las jerarquías superiores de Mtto.	79,03	20,97
3	Percepción del mantenimiento	82,69	17,31
4	Conocimiento de la Disponibilidad (availability) de equipos	54,55	45,45
5	Conocimiento de los Costos de mantenimiento	20,00	80,00
6	Métodos y preparación de trabajos de mantenimiento	92,42	7,58
7	Planeación de actividades y trabajos de mantenimiento	65,22	34,78
8	Manejo de inventarios	82,14	17,86
9	Qué es lo que cada quién hace en mantenimiento	60,34	39,66
10	Recursos Humanos de Mantenimiento	75,00	25,00
11	Recursos Materiales de Mantenimiento	64,81	35,19
12	Entrenamiento	67,00	33,00
PROMEDIO		68,31	31,69

Tabla 33. Resultados del *Flash Audit* para Producción 2

PRODUCCIÓN 2		Puntaje Real	Por mejorar
No.	Instrumento de mantenimiento	%	%
1	Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mtto.)	54,41	45,59
2	Percepción de las jerarquías superiores de Mtto.	58,06	41,94
3	Percepción del mantenimiento	71,15	28,85
4	Conocimiento de la Disponibilidad (availability) de equipos	34,09	65,91
5	Conocimiento de los Costos de mantenimiento	20,00	80,00
6	Métodos y preparación de trabajos de mantenimiento	43,18	56,82
7	Planeación de actividades y trabajos de mantenimiento	52,17	47,83
8	Manejo de inventarios	42,86	57,14
9	Qué es lo que cada quién hace en mantenimiento	60,34	39,66
10	Recursos Humanos de Mantenimiento	61,76	38,24
11	Recursos Materiales de Mantenimiento	57,41	42,59
12	Entrenamiento	67,00	33,00
PROMEDIO		51,87	48,13

Tabla 34. Resultados del *Flash Audit* para Producción 3

PRODUCCIÓN 3		Puntaje Real	Por mejorar
No.	Instrumento de mantenimiento	%	%
1	Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mto.)	54,41	45,59
2	Percepción de las jerarquías superiores de Mto.	58,06	41,94
3	Percepción del mantenimiento	71,15	28,85
4	Conocimiento de la Disponibilidad (availability) de equipos	38,64	61,36
5	Conocimiento de los Costos de mantenimiento	22,50	77,50
6	Métodos y preparación de trabajos de mantenimiento	43,18	56,82
7	Planeación de actividades y trabajos de mantenimiento	52,17	47,83
8	Manejo de inventarios	42,86	57,14
9	Qué es lo que cada quién hace en mantenimiento	63,79	36,21
10	Recursos Humanos de Mantenimiento	61,76	38,24
11	Recursos Materiales de Mantenimiento	57,41	42,59
12	Entrenamiento	67,00	33,00
PROMEDIO		52,75	47,25

Tabla 35. Resultados del *Flash Audit* para Gerencia 1 y 3

GERENCIA 1		Puntaje Real	Por mejorar
No.	Instrumento de mantenimiento	%	%
1	Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mto.)	54,41	45,59
2	Percepción de las jerarquías superiores de Mto.	74,19	25,81
3	Percepción del mantenimiento	76,92	23,08
4	Conocimiento de la Disponibilidad (availability) de equipos	45,45	54,55
5	Conocimiento de los Costos de mantenimiento	22,50	77,50
6	Métodos y preparación de trabajos de mantenimiento	62,88	37,12
7	Planeación de actividades y trabajos de mantenimiento	65,22	34,78
8	Manejo de inventarios	59,82	40,18
9	Qué es lo que cada quién hace en mantenimiento	62,07	37,93
10	Recursos Humanos de Mantenimiento	69,12	30,88
11	Recursos Materiales de Mantenimiento	77,78	22,22
12	Entrenamiento	67,00	33,00
PROMEDIO		61,45	38,55

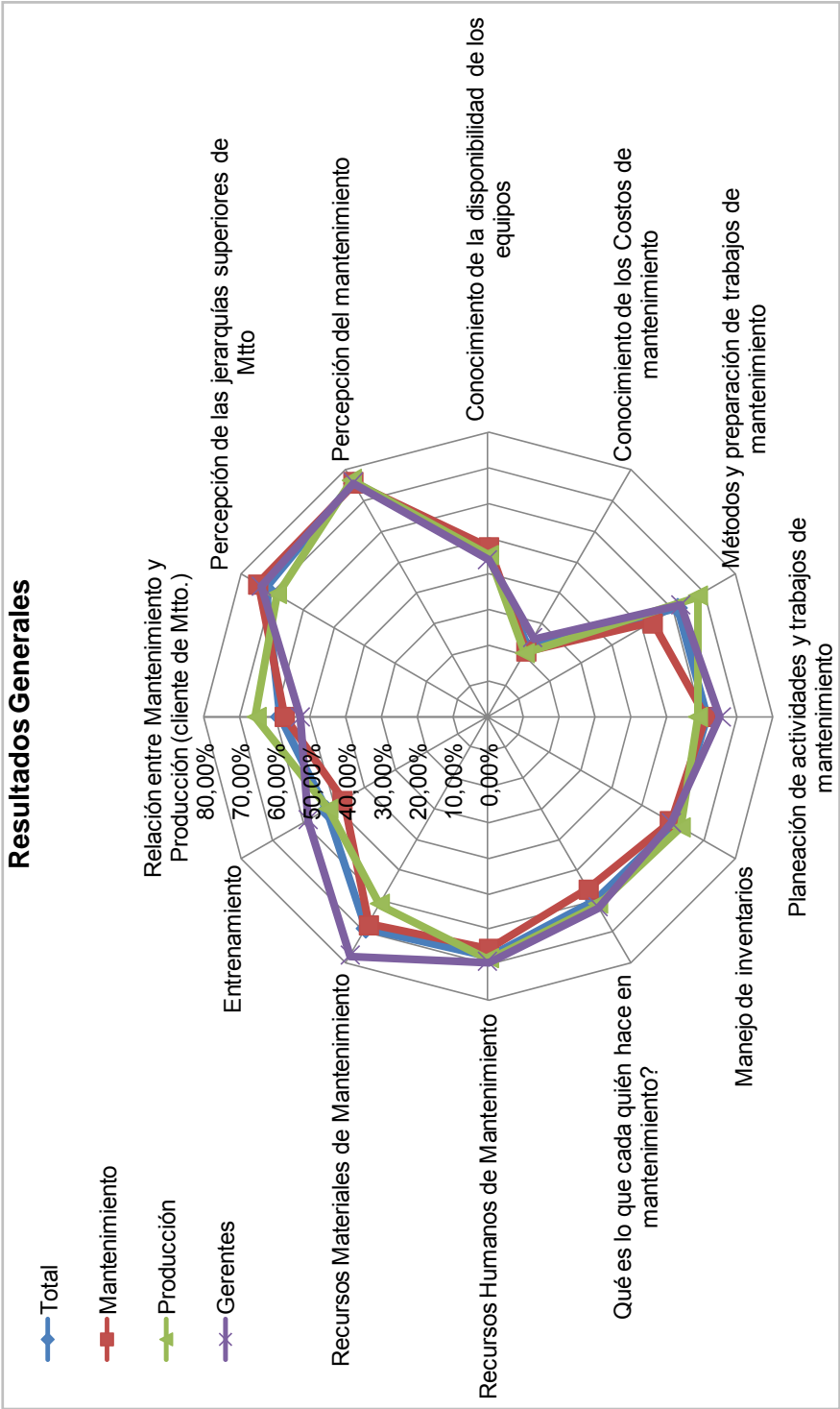
Tabla 36. Resultados del *Flash Audit* para Gerencia 2 y 4

GERENCIA 2		Puntaje Real	Por mejorar
No.	Instrumento de mantenimiento	%	%
1	Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mtto.)	52,94	47,06
2	Percepción de las jerarquías superiores de Mtto.	72,58	27,42
3	Percepción del mantenimiento	76,92	23,08
4	Conocimiento de la Disponibilidad (availability) de equipos	40,91	59,09
5	Conocimiento de los Costos de mantenimiento	35,00	65,00
6	Métodos y preparación de trabajos de mantenimiento	62,88	37,12
7	Planeación de actividades y trabajos de mantenimiento	65,22	34,78
8	Manejo de inventarios	59,82	40,18
9	Qué es lo que cada quién hace en mantenimiento	62,07	37,93
10	Recursos Humanos de Mantenimiento	69,12	30,88
11	Recursos Materiales de Mantenimiento	77,78	22,22
12	Entrenamiento	67,00	33,00
PROMEDIO		61,85	38,15

Tabla 37. Resultados totales del *Flash Audit*

No.	Instrumento	Gerentes		Mantenimiento		Producción		Total	
		% Real G	por mejorar %	% Real M	por mejorar %	% Real P	por mejorar %	% Real Total	por mejorar %
1	Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mto.)	52,94%	47,06%	57,35%	42,65%	65,44%	34,56%	58,58%	41,42%
2	Percepción de las jerarquías superiores de Mto	73,79%	26,21%	75,00%	25,00%	68,55%	31,45%	72,45%	27,55%
3	Percepción del mantenimiento	75,96%	24,04%	75,96%	24,04%	76,92%	23,08%	76,28%	23,72%
4	Conocimiento de la disponibilidad de los equipos	44,32%	55,68%	47,73%	52,27%	45,45%	54,55%	45,83%	54,17%
5	Conocimiento de los Costos de mantenimiento	25,63%	74,38%	21,25%	78,75%	20,63%	79,38%	22,50%	77,50%
6	Métodos y preparación de trabajos de mantenimiento	62,88%	37,12%	53,22%	46,78%	67,80%	32,20%	61,30%	38,70%
7	Planeación de actividades y trabajos de mantenimiento	65,22%	34,78%	60,87%	39,13%	58,70%	41,30%	61,59%	38,41%
8	Manejo de inventarios	59,82%	40,18%	58,93%	41,07%	62,50%	37,50%	60,42%	39,58%
9	Qué es lo que cada quién hace en mantenimiento?	62,07%	37,93%	56,03%	43,97%	61,21%	38,79%	59,77%	40,23%
10	Recursos Humanos de Mantenimiento	69,12%	30,88%	65,44%	34,56%	68,38%	31,62%	67,65%	32,35%
11	Recursos Materiales de Mantenimiento	77,78%	22,22%	67,59%	32,41%	61,11%	38,89%	68,83%	31,17%
12	Entrenamiento	58,33%	41,67%	47,22%	52,78%	52,08%	47,92%	52,55%	47,45%
RESULTADO PORCENTUAL		60,65%	39,35%	57,22%	42,78%	59,06%	40,94%	58,98%	41,02%
TENDENCIA ÓPTIMA PORCENTUAL		99,00%	1,00%	99,00%	1,00%	99,00%	1,00%	99,00%	1,00%

Figura 21. Radar de resultados del *Flash Audit*

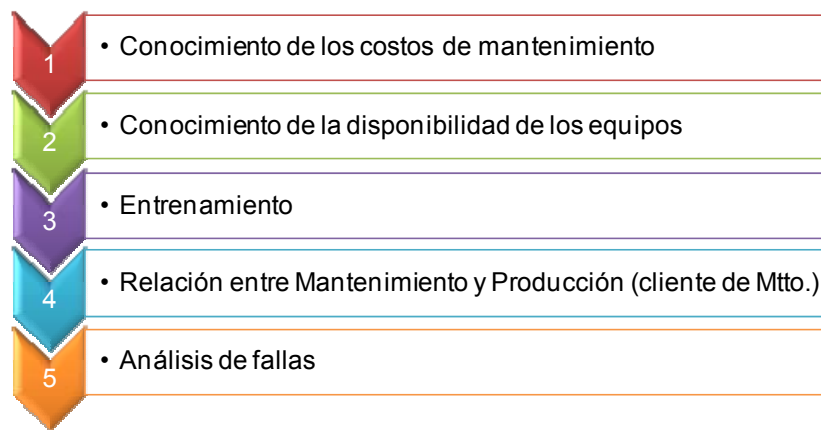


Fuente: resultados de la macro de Excel del análisis del *Flash Audit*

9. ASUNTOS DE POTENCIAL IMPORTANCIA: API'S

Los instrumentos del mantenimiento más críticos en la empresa en orden jerárquico, de acuerdo a los resultados del *Flash Audit* y la revisión exhaustiva, se muestran a continuación. Ver figura 22.

Figura 22. Asuntos de potencial importancia



Fuente: elaboración propia

Estos cinco componentes se convierten en los API's - asuntos de potencial importancia. En función de las evaluaciones realizadas, es posible afirmar que estos asuntos surgen como consecuencia de una falta de programación, comunicación, disponibilidad de tiempo, falta de orden, planeación, control y constancia, falta de recursos económicos y de apoyo en cuanto a recurso humano en la dirección para la gestión, y finalmente, a la falta de un sistema de información CMMS que apoye logísticamente al proceso.

El plan de mejoras de los cuatro primeros instrumentos se desarrolla en base a las preguntas más críticas obtenidas del *Flash Audit* para cada instrumento, esto debido a su extensión y al alcance del proyecto. Ver tablas 38, 39, 40 y 41 a continuación, donde se somborean en color naranja las preguntas que hayan obtenido al menos una puntuación igual a tres.

El análisis de fallas puede abarcar un proyecto completo, por lo que su plan de mejoras comprende elementos básicos que le permiten a la empresa iniciar el proceso de análisis de fallas.

Tabla 38. Resultados del instrumento No. 5 - Conocimiento de los costos de mantenimiento

Conocimiento de los costos de mantenimiento				
No. Pregunta	Gerente	Mantenimiento	Producción	Descripción de la pregunta
	5	5	5	
1	2,75	2,5	3	¿Conoce los costos de Mantenimiento en detalle?
2	2	3	3	¿Hace usted la adquisición de datos de los costes de mantenimiento?
3	2,5	3	3	¿Tiene registros de la adquisición de datos referentes a los costes de mantenimiento?
4	3	2,25	3	¿Usted utiliza un documento especial para exigir una intervención?
9	3	3	3	¿Destaca los costes de la ejecución de Mantenimiento Preventivo?
10	3	3	3	¿Destaca los costes de la ejecución de Mantenimiento Correctivo?
11	3	3	3	¿Se sigue el informe del costo del Mantenimiento Preventivo/Correctivo?
12	3	3	3	¿Es el informe de costo del Preventivo/Correctivo conocido para cada máquina?
13	2	3	3	¿Utiliza el informe para hacer evaluaciones al programa Preventivo?
14	3	3	3	¿Siempre utiliza índices de costos?
16	3	3	3	¿Tiene proceso específico para los Costos Preventivos?
17	2,75	3	2	¿Si usted adquiere datos de costeo, ¿es para un análisis de la contabilidad analítica?
18	2,75	3	2,75	¿Tiene una estructura para la contabilidad analítica?
19	3	3	3	¿Utiliza su contabilidad analítica para manejar sus servicios de mantenimiento?
20	3	3	3	¿Es el informe de los costes de mantenimiento Preventivo/Correctivo conocido y seguido siempre?

Las preguntas 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19 y 20 obtuvieron un puntaje de tres en al menos uno de los grupos auditados, lo que indica que son los aspectos más críticos dentro de la evaluación del componente número cinco de la metodología: Conocimiento de los costos de mantenimiento.

Se observa que el componente de los costos es el más crítico dentro del proceso de mantenimiento en la empresa, debido a su poco seguimiento.

Tabla 39. Resultados del instrumento No. 4 - Conocimiento de la disponibilidad de los equipos.

Conocimiento de la disponibilidad de los equipos				
No. Pregunta	Gerente 4	Mantenimiento 4	Producción 4	Descripción de la pregunta
4	3	3	2,5	¿Esta la parte de disponibilidad en los registros históricos?
7	3	3	2,5	¿ Tiene un sistema de gerencia para la parada estacional?
8	3	2	2,5	En mantenimiento preventivo, además de la parada estacional de la unidad, ¿tiene un planeamiento para la parada regular?
12	3	3	1,5	¿ Tiene un historial de todas las pérdidas de disponibilidad (externa o interna) de sus máquinas y equipos?
13	3	3	3	¿ Sigue el down time para todas las máquinas?
15	3	3	3	¿ Sigue el índice de la disponibilidad de las máquinas que disciernen entre la interrupción, el mantenimiento preventivo, etc.?
16	3	2,5	2,5	¿ Registra sobre las horas de la ejecución, la dosificación entre el Mantenimiento Preventivo y Correctivo?
17	3	3	3	¿ Es el el informe global conocido?
18	3	2	3	¿ Este informe es conocido para todas las máquinas Estratégicas?
19	2	2	3	¿ Tiene límites que sean aceptables o inaceptables para el Mantenimiento preventivo/Mantenimiento Correctivo?
20	2	2	3	¿ Utiliza este cociente para mejorar el programa preventivo?

Las preguntas 4, 7, 8, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 obtuvieron un puntaje de tres en al menos uno de los grupos auditados, lo que indica que son los aspectos más críticos dentro de la evaluación del instrumento número cuatro de la metodología: Conocimiento de la disponibilidad de los equipos.

Tabla 40. Resultados del instrumento No. 1 - Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mtto.).

Relación entre Mantenimiento y Producción (cliente de Mtto.)				
No. Pregunta	Gerente 1	Mantenimiento 1	Producción 1	Descripción de la pregunta
3	3	3	2	¿Las solicitudes para intervenciones de mantenimiento vienen desde Producción?
9	3	2,5	2,5	¿Los operarios registran los detalles de sus intervenciones?
19	3	1,5	1	¿Usted ajusta (electricistas) o aprieta tuercas, tubos, accesorios, conexiones, etc.?
20	3	2,5	1	¿Lubrica y ajusta regularmente sus máquinas?
27	3	3	2,5	¿Usted siempre llama Mantenimiento con procedimientos definidos?
28	3	3	2	¿Respeto estos procedimientos aún en caso de averías o en circunstancias imprevistas?

Las preguntas 3, 9, 19, 20, 27, 28, 31 y 32 obtuvieron un puntaje de tres en al menos uno de los grupos auditados, lo que indica que son los aspectos más críticos de la evaluación del instrumento número uno: Relación entre Mantenimiento y Producción.

Tabla 41. Resultados del instrumento No. 12 – Entrenamiento

Entrenamiento				
No. Pregunta	Gerente 12	Mantenimiento 12	Producción 12	Descripción de la pregunta
1	3	3	3	¿Tiene usted un presupuesto específico para entrenar el personal de mantenimiento?
2	3	3	3	¿Sabe usted si el presupuesto que se asigna al entrenamiento para mantenimiento siempre es consumido?
3	3	3	3	¿Estima usted que su presupuesto cubre las necesidades de entrenamiento?
14	3	2,5	1,75	¿Son organizados los cursos de capacitación por la empresa?
18	3	3	2,5	¿Tienen ustedes un método para medir la eficacia que se entrena?

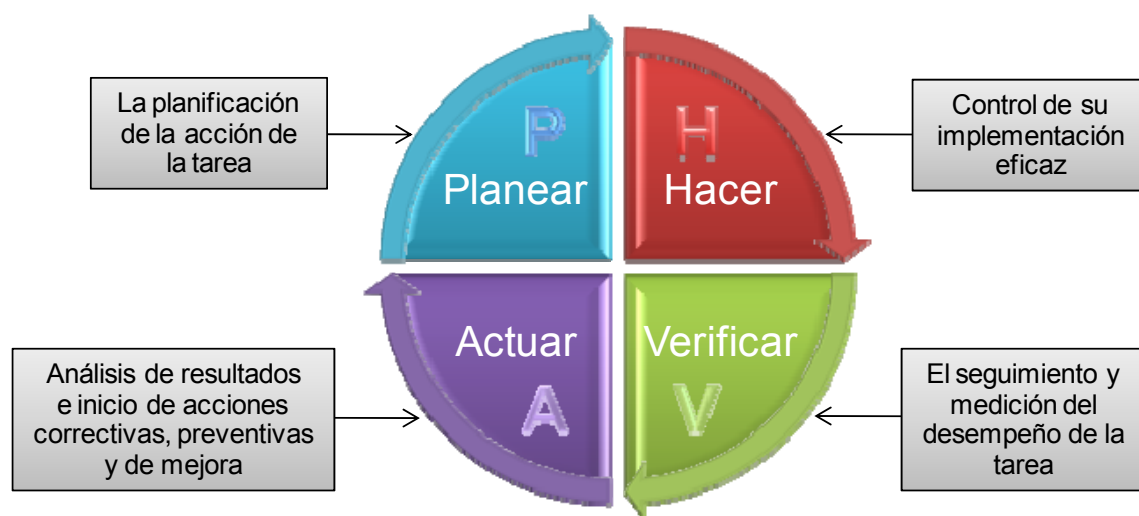
El análisis del *Flash Audit* arroja resultados medianamente positivos en cuanto al entrenamiento del personal. En este componente se encuentran cinco preguntas críticas, las número 1, 2, 3 14 y 18.

10. PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO

En el capítulo número cuatro del proyecto se hizo un acercamiento a un plan de mejoras y se describieron sus componentes.

El plan de mejoras de mantenimiento se desarrolla en función de la metodología planear, hacer, verificar, actuar; esta metodología es muy efectiva y se puede implementar en cualquier proceso y empresa. La figura 23 ilustra la metodología.

Figura 23. Metodología para el plan de mejoras de mantenimiento



Fuente: elaboración propia

El plan de mejoras contiene: el punto débil o aspecto a mejorar, la acción correctiva, preventiva o de mejora, las tareas por acción, el personal involucrado, el plazo (corto o mediano), los recursos económicos y materiales necesarios y por último, el método de evaluación o seguimiento. La persona directamente encargada del seguimiento es la directora de mantenimiento. Las tareas se plantean en base a la experiencia propia, a fundamentos y metodologías de diversas literaturas acerca de mantenimiento y gestión.

A continuación se presenta el plan de mejoras de mantenimiento correspondiente a cada asunto de potencial importancia definido anteriormente, de acuerdo a su nivel de importancia o jerarquía. Se utiliza el formato mostrado en la tabla 1, página 17 del proyecto. Ver tablas 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 y 52.

Tabla 42. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de los costos de mantenimiento - parte I

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA EL CONOCIMIENTO DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO							
1	No siempre se utiliza un documento especial para exigir una intervención de mantenimiento						
	Usar siempre un documento especial para exigir las intervenciones de mantenimiento						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
1.1	Medir el número de solicitudes de intervención de mantenimiento que se hacen sin un documento especial (por ejemplo de forma verbal)	Personal de Mtto.			Hojas de vida de equipos Historial de solicitudes de intervención Computador	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total La sumatoria es igual al 100%	22%
1.2	Evaluar las causas del por qué no siempre se usa un documento especial para exigir las intervenciones de mantenimiento	Directores de procesos, Gerente			Herramienta ofimática Diagrama causa-efecto		24%
1.3	Evaluar el documento existente para la solicitud de las intervenciones, hacer mejoras en base a los resultados de la tarea anterior, o crear uno nuevo	Director(a) de Mtto.			Formato de orden de trabajo existente Computador Herramienta ofimática		15%
1.4	Sensibilizar y capacitar al personal, y poner en marcha el uso permanente del documento especial	Personal de Mtto., Directores de procesos, Gerente			Reunión informativa Video Beam Computador Documento especial		19%
1.5	Dar un tratamiento técnico a los documentos, obtener indicadores a partir de la información de los documentos	Director(a) de Mtto.			Datos recolectados Hojas de vida de equipos Herramienta ofimática para graficar y generar informes		10%
1.6	Generar un informe a partir de los indicadores que se obtienen en la tarea anterior	Director(a) de Mtto.			Computador		10%
1.7	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia del documento y proponer acciones correctivas o de mejora	Director(a) de Mtto.			Indicadores de gestión Plan de acción 60 días aprox.	# intervenciones solicitadas bajo un documento # total de intervenciones	

Fuente: elaboración propia

Tabla 43. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de los costos de mantenimiento - parte II

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA EL CONOCIMIENTO DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO							
2	No se calculan los costos de las actividades de mantenimiento, no se genera un informe y no se conocen los costos de mantenimiento en detalle para cada equipo						
	Calcular los costos de las actividades de mantenimiento, generar un informe de los costos de mantenimiento en detalle						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
2.1	Incluir en la orden de trabajo un espacio para la especificación del costo de la mano de obra, agregar una celda para ingresar más fechas y horas de inicio y fin, incluir un espacio para el registro del costo de los repuestos e insumos y un espacio para la liquidación de los costos por concepto y la liquidación total por orden de trabajo. Modificar el procedimiento para el registro en las órdenes de trabajo.	Personal de Mtto. Director(a) de Calidad			Formato de orden de trabajo existente Computador Herramienta ofimática Un mes	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total La sumatoria es igual al 100%	17%
2.2	Diseñar una metodología que permita registrar fácil y correctamente los costos en las órdenes de trabajo	Director(a) de Mtto. Ingeniero(a) de sistemas			Listado de necesidades y objetivos		13%
2.3	Sensibilizar y capacitar al personal, y poner en marcha la metodología para el registro de los costos en la orden de trabajo				Orden de trabajo modificada Reunión informativa Video Beam Computador		12%
2.4	Registrar los costos por cada orden de trabajo, clasificándolos por equipo, tipo de mantenimiento y de trabajo (se sugiere el uso del formato Informe mensual de los costos de mantenimiento, ver Anexo A.)	Personal de Mtto.			Computador Herramienta ofimática Formato sugerido para el registro		13%
2.5	Crear un formato para el registro de las actividades por subcontratación donde se especifiquen los costos por cada rubro	Director(a) de Mtto.			Información necesaria Herramienta ofimática Computador		5%
2.6	Registrar los costos por subcontratación por equipo, tipo de trabajo, mantenimiento y contratista.	Director(a) de Mtto. Contratista			Formato diseñado en la tarea 2.5 Computador Herramienta ofimática		12%
2.7	Presentar el informe mensual a la gerencia y a Producción y programar reuniones periódicas para su evaluación	Director(a) de Mtto. Gerentes			Documento Informe mensual		13%
2.8	Seguir el informe mensual y hacer un análisis de los costos, para tomar acciones correctivas, de mejora o preventivas.	Director(a) de Pdn.			Indicadores de costos Plan de acción		15%
2.9	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia, efectividad y eficiencia de la adquisición de datos y del informe, y proponer acciones correctivas, preventivas o de mejora	Director(a) de Mtto.			Reuniones periódicas Historial de costos Presupuesto 8 meses aprox.	<div># informes de costos</div> <div># total de mantenimientos</div>	

Fuente: elaboración propia

Tabla 44. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de los costos de mantenimiento - parte III

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA EL CONOCIMIENTO DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO							
3	No existe una estructura de costos para mantenimiento						
	Definir una estructura de costos para mantenimiento						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
3.1	Revisar y analizar la estructura de la contabilidad de la empresa	Director(a) de Mtto. Contadora Gerentes			Acceso a la estructura de la contabilidad Análisis de efectividad	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total La sumatoria es igual al 100%	6%
3.2	Definir un sistema de costeo de acuerdo a las necesidades de mantenimiento y de la empresa				Listado de los centros de costos Listado de los subcentros de costos Computador y herramienta ofimática		18%
3.2	Crear centros de costos de mantenimiento para repuestos, insumos, mano de obra, entrenamiento al personal, seguros, inventario, transporte e interés financiero del capital inmovilizado por el inventario.						16%
3.3	Crear subcentros de costos para especificar el tipo de actividad de mantenimiento (similar a cuentas PUC)						15%
3.4	Definir si se va a utilizar el Software Mecosoftland o un sistema de información diferente y parametrizar				Información requerida y disponible Software - Inversión		11%
3.5	Definir la generación de los informes mensuales de los costos de mantenimiento				Herramienta ofimática Reunión con gerencia		7%
3.6	Establecer objetivos de costo por actividades de mantenimiento, por piezas específicas de equipos y por mano de obra				Informes de costos por centro y subcentro de constos		12%
3.7	Poner en marcha la estructura y el sistema de costos				Índice Plan de acción Reuniones periódicas Informes de costos 9 meses aprox.		15%
3.8	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia y efectividad del la estructura y el sistema y proponer acciones correctivas, preventivas o de mejora			Informes y balances de contabilidad respecto a mantenimiento			

PUC: Plan Único de Cuentas para Colombia

Fuente: elaboración propia

Tabla 45. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de la disponibilidad de los equipos - parte I

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA EL CONOCIMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS							
1	No se sigue el down time para todos los equipos						
	Hacer el seguimiento y el registro del down time de los equipos						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
1.1	Definir a qué equipos críticos se les va a seguir y registrar el down time, marcarlos y darlos a conocer al personal	Director(a) de Mtto. Director(a) de Pdn.			Listado maestro de equipos y evaluación de criticidad	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total	7%
1.2	Instalar el contador más adecuado en cada equipo que no tenga uno y revisar el funcionamiento de los existentes	Personal de Mtto.			Instrumento para medición Técnico de Mtto.		5%
1.3	Crear un formato que incluya planillas de tiempo y fechas para el registro de las paradas programadas y no programadas para cada equipo elegido.	Personal de Mtto.			Herramienta ofimática Impresora Computador		4%
1.4	Asignar un responsable de la adquisición de datos si es de forma manual, si es automática, asignar un responsable del seguimiento del correcto funcionamiento	Personal de Mtto.			Técnico de mantenimiento		3%
1.5	Medir los tiempos útiles (<i>up time</i>) individuales durante la jornada de producción, excluyendo los ready time	Técnico de Mtto. Supervisor de Pdn.			Cronómetro o contador, OT, Técnico de Mtto.		11%
1.6	Medir los tiempos de no disponibilidad (<i>down time</i>) sin discriminar los tiempos correctivos, preventivos, logísticos, etc.	Técnico de Mtto. Supervisor de Pdn.			Cronómetro, OT Técnico de Mtto.	La sumatoria es igual al 100%	11%
1.7	Registrar los datos y graficar el <i>up time</i> y <i>down time</i> para cada equipo para medir la disponibilidad genérica	Director(a) de Mtto.			Formato Hrrta. Ofimática Computador		12%
1.8	Evaluar la eficiencia y veracidad en el seguimiento y registro de los tiempos y tomar acciones correctivas o de mejora de acuerdo a los resultados que se obtengan	Directora(a) de Mtto. Técnicos de Mtto.			Indicadores de gestión Registros de tiempos Plan de acción		8%
1.9	Calcular los $MUT = \sum UT / \# \text{ eventos } UT$ y los $MDT = \sum UD / \# \text{ eventos } UD$	Director(a) de Mtto.			Datos registrados Herramienta ofimática Computador		16%
1.10	Calcular la disponibilidad genérica a partir de los datos obtenidos y registrados en los gráficos	Director(a) de Mtto.					23%
1.11	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia del cálculo de la disponibilidad y proponer acciones correctivas o de mejora	Director(a) de Mtto.			Indicadores de gestión Cálculos de disponibilidad Plan de acción Doce meses	Coherencia de los resultados del cálculo Disponibilidades calculadas	
1.12	Medir y registrar los tiempos <i>MTTR</i> y <i>MTBF</i> para el cálculo de la disponibilidad inherente y los <i>MTBM</i> y <i>MP</i> para el cálculo de la disponibilidad alcanzada.	Personal de Mtto.			Cronómetro o contador Herramienta ofimática Técnico de Mtto.,	No aplica	No aplica
1.13	Graficar los datos y calcular la disponibilidad inherente primero y posteriormente la alcanzada.	Director(a) de Mtto.			Herramienta ofimática Computador		

Ver ecuaciones en el capítulo 6.2.1.4. Nivel estratégico: Disponibilidad

Fuente: elaboración propia

Tabla 46. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de la disponibilidad de los equipos - parte II

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA EL CONOCIMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS							
2	La disponibilidad no está en los registros de la hoja de vida de los equipos						
	Hacer la adquisición de datos de disponibilidad genérica y registrarlos en las hojas de vida de los equipos						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
2.1	Registrar la disponibilidad obtenida en cada equipo en su hoja de vida, publicarla y explicarla al personal	Director(a) de Mto.			Hojas de vida de equipos	Su cumplimiento establece el	30%
2.2	Establecer límites permisibles y no permisibles a partir de la información obtenida, y fijar nuevas metas de disponibilidad genérica	Director(a) de Mto. Director(a) de Pdn. Gerente			Disponibilidad calculada Parámetros del equipo Metas de producción	x% de desarrollo sobre el total	40%
2.3	Hacer la medición de disponibilidad genérica constantemente y mantener los registros de la hoja de vida actualizados, para facilitar la toma de decisiones	Director(a) de Mto.			Registro de tiempos Formatos Herramienta ofimática Computador	La sumatoria es igual al 100%	30%
2.4	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia del registro y actualización de la disponibilidad y proponer acciones correctivas o de mejora	Director(a) de Mto.			Indicadores de gestión Disponibilidades Plan de acción Doce meses	Registros de mantenimiento Disponibilidades periódicas	
3	No se tiene un planeamiento bien definido para la parada regular en mantenimiento preventivo						
	Desarrollar un plan para la parada regular en mantenimiento preventivo						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
3.1	Identificar las paradas regulares en mantenimiento preventivo	Personal de Mto.			Historial o listado de posibles de paradas	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total	10%
3.2	Establecer las nuevas paradas regulares en base al cronograma de actividades planteado en la tarea No.2.7 del plan de mejoras para la relación entre Mantenimiento (cliente) y Producción	Director(a) de Mto. Director(a) de Pdn. Supervisor de Pdn. Técnicos de Mto.			Historial o listado de posibles de paradas Cronograma de actividades Herramienta ofimática Computador		10%
3.3	Crear procedimientos e instructivos con los requerimientos y parámetros para las paradas regulares y publicarlo (se incluye en el plan de mantenimiento preventivo)	Personal de Mto.			Formatos Herramienta ofimática Computador Imágenes y registro de actividades		12%
3.4	Informar y coordinar con Producción cada parada regular, definir fechas y horas, imprimir el plan y publicarlo	Director(a) de Mto. Director(a) de Pdn.			Cronograma, listado de paradas, calendario, computador, impresora		6%
3.5	Definir rutinas de inspección previas a las paradas regulares que lo requieran	Personal de Mto.			Listado de rutinas Formato para el registro de los tiempos por actividad		12%
3.6	Gestionar los recursos materiales y humanos para cada parada estacional, alistar la documentación técnica necesaria	Director(a) de Mto.			Capital económico Personal disponible Documentación		12%
3.7	Preparar los equipos para la parada	Director(a) de Mto.			Equipos y herramientas		6%
3.8	Poner en marcha los planes para las paradas regulares	Director(a) de Mto.			Cronogramas, equipo, recursos materiales		18%
3.9	Registrar el consumo de repuestos, insumos, horas trabajadas, problemas, fotos, videos, sugerencias, etc.	Personal de Mto. Almacenista			Software manejo de inventario Orden de trabajo		6%
3.10	Dar un tratamiento técnico a los registros y obtener indicadores de éste.	Director(a) de Mto.			Gráficos - indicadores de gestión		8%
3.11	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia del sistema y proponer acciones correctivas, preventivas o de mejora	Director(a) de Mto. Director(a) de Pdn. Gerente			Plan de acción Tres a nueve meses	Número de planes definidos para paradas regulares	

Fuente: elaboración propia

Tabla 47. Plan de mejoras de mantenimiento para el conocimiento de la disponibilidad de los equipos - parte III

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA EL CONOCIMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS							
4	No está definido un sistema de gerencia para la parada estacional						
	Diseñar un sistema de gerencia para la parada estacional de mantenimiento						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
4.1	Identificar las paradas estacionales en mantenimiento	Personal de Mtto. Personal de Pdn. Gerente			Historial o listado de posibles de paradas	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total	13%
4.2	Hacer una valoración de la época necesaria para la parada estacional				Programación de la producción y capacidad de los equipos		12%
4.3	Coordinar con Producción cada parada estacional, definir fechas y horas		Director(a) de Mtto. Director(a) de Pdn.				Cronograma Calendario
4.4	Establecer los requerimientos para cada parada estacional	Personal de Mtto.			Listado de paradas		8%
4.5	Gestionar los recursos materiales y humanos para cada parada estacional, alistar la documentación técnica necesaria	Director(a) de Mtto. Gerente Almacenista y comprador			Recurso material y humano necesario Documentación técnica		10%
4.6	Programar y realizar visitas de inspección al equipo, previas a la parada estacional	Personal de Mtto. Supervisor de Pdn.			Listas de chequeo Cronograma	La sumatoria es igual al 100%	6%
4.7	Elaborar procedimientos para las paradas	Personal de Mtto.			Instuctivos y manuales		8%
4.8	Preparar los equipos para la parada				Equipos y herramientas		7%
4.9	Llevar a cabo las paradas estacionales				Cronogramas, equipo, recursos materiales		15%
4.10	Registrar el consumo de repuestos, insumos, horas trabajadas, problemas, fotos, videos, sugerencias, etc.	Personal de Mtto.			Software manejo de inventario Orden de trabajo		6%
4.11	Dar un tratamiento técnico a los registros y obtener indicadores de éste.	Director(a) de Mtto.			Gráficos - indicadores de gestión	Número de planes definidos para parada estacional	4%
4.12	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia del sistema y proponer acciones correctivas o de mejora	Director(a) de Mtto. Director(a) de Pdn. Gerente			Plan de acción Tres a nueve meses		
5	El informe global de la disponibilidad de los equipos no se conoce						
	Generar el informe global de la disponibilidad genérica de los equipos						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
5.1	Crear un formato para la presentación del informe global de disponibilidad y un procedimiento para su diligenciamiento	Director(a) de Mtto. Director(a) de calidad			Herramienta ofimática Computador Registros de disponibilidad Impresora Video Beam	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total	15%
5.2	Generar un informe global de la disponibilidad de los equipos mensual o con la frecuencia acordada con la gerencia	Director(a) de Mtto. Gerencia					40%
5.3	Publicar y explicar el informe a los gerentes, al director(a) de Pdn. y al personal de Mtto.	Director(a) de Mtto. Director(a) de Pdn.					15%
5.4	Fijar nuevas metas en base a los resultados que presenta el informe global	Gerente Técnicos de Mtto.			Resultados	La sumatoria es igual al 100%	25%
5.5	Proponer acciones correctivas o de mejora				Gráficos - indicadores de gestión		
5.6	Conservar en una carpeta definida como historial	Director(a) de Mtto			Plan de acción	Conocimiento de la disponibilidad por equipo	5%
5.7	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia del informe y proponer acciones correctivas o de mejora	Director(a) de Mtto. Director(a) de Pdn. Gerente			Carpeta física y virtual Ocho a doce meses		

Fuente: elaboración propia

Tabla 48. Plan de mejoras de mantenimiento para la relación entre Mantenimiento (cliente) y Producción - parte I

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA LA RELACIÓN ENTRE MANTENIMIENTO (CLIENTE) Y PRODUCCIÓN							
1	Las solicitudes desde producción para las intervenciones de mantenimiento no tienen una forma definida						
	Establecer un procedimiento para la solicitud de las intervenciones desde producción						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
1.1	Clasificar las solicitudes para trabajos de mantenimiento de acuerdo a su importancia usando el índice ICGM	Director(a) de Mto.			Metodología ICGM	Su cumplimiento establece el	5%
1.2	Definir una línea de comunicación para informar los acontecimientos en el sistema	Director(a) de Pdn. Supervisor de Pdn.			Listado de la información requerida	x% de avance sobre el total	35%
1.3	Estandarizar el nivel de detalle de la información a suministrar de acuerdo al tipo de solicitud	Un operario de Pdn. y un técnico de Mto. representantes			Video Beam Computador Herramienta ofimática	La sumatoria es igual al 100%	30%
1.4	Sensibilizar y capacitar al personal y poner en marcha la línea de comunicación						30%
1.5	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia de la línea de comunicación y proponer acciones correctivas o de mejora	Director(a) de Mto.			Indicadores de gestión Plan de acción Dos a tres meses	Reunir al personal y si al menos uno tiene desconocimiento, hay falencias en la comunicación	
2	El mantenimiento preventivo incluye el ajuste de elementos eléctricos, mecánicos, limpieza y lubricación, pero no bajo un plan y cronograma de mantenimiento						
	Crear planes de mantenimiento preventivo donde se establezcan cronogramas de actividades, parámetros y límites						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
2.1	Definir a qué equipos se les va a diseñar un plan de mantenimiento preventivo				Listado de equipos y clasificación de equipos críticos		8%
2.2	Calcular la criticidad de los equipos (ver Anexo B)	Personal de Mto. Director(a) de Pdn. Supervisor de Pdn.			Manuales, planos, especificaciones, etc.		
2.3	Estudiar mejor cada equipo, conocer sus subsistemas, partes, funcionamiento, modos de falla, etc.						16%
2.4	Definir el personal que va a llevar a cabo el mantenimiento preventivo y medir los tiempos para trabajos de mantenimiento (ver Anexo E)	Director(a) de Mto.			Listado de la mano de obra disponible y nivel de conocimiento		6%
2.5	Fortalecer los objetivos y el alcance del mantenimiento preventivo	Director(a) de Mto. Director(a) de Calidad.			Objetivos del mantenimiento preventivo, instructivos, fotos, formatos	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total	7%
2.6	Desarrollar procedimientos normalizados para el mantenimientos preventivo	Director(a) de Pdn.					9%
2.7	Definir un patrón de medida en los equipos para la programación del mantenimiento preventivo				Manuales, planos, especificaciones, etc.	La sumatoria es igual al 100%	6%
2.8	Crear un cronograma de actividades de mantenimiento preventivo para los equipos definidos en la tarea No.1	Personal de Mto. Director(a) de Pdn. Supervisor de Pdn.			Herramienta ofimática Computador Calendario		15%
2.9	Elaborar formatos y procedimientos que permitan la planeación, ejecución y control del mantenimiento preventivo				Computador Herramienta ofimática Instructivos		7%
2.10	Planear y gestionar la compra de la herramienta, materiales y repuestos para las actividades planeadas	Director(a) de Mto. Compras y almacén			Listado de requerimientos Capital económico		8%
2.11	Sensibilizar y capacitar al personal involucrado				Procedimientos, cronogramas, instructivos, materiales y repuestos		
2.12	Implementar los planes de mantenimiento preventivo	Personal de Mto.					18%
2.13	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia de los planes y proponer acciones de mejora	Director(a) de Mto.			Indicadores de gestión Plan de acción Cinco a seis meses	# tareas realizadas sobre la programación # tareas programadas	

Fuente: elaboración propia

Tabla 49. Plan de mejoras de mantenimiento para la relación entre Mantenimiento (cliente) y Producción - parte II

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA LA RELACIÓN ENTRE MANTENIMIENTO (CLIENTE) Y PRODUCCIÓN								
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento		
			C	M				
3	Los procedimientos para solicitar un mantenimiento desde cualquier proceso no siempre se respetan en caso de averías o circunstancias imprevistas							
	Definir políticas y normas para los procedimientos acordes con las políticas generales de la empresa y del proceso de mante							
3.1	Revisar las políticas generales de la empresa y de mto. y los procedimientos para solicitar un mantenimiento	Director(a) de Mto.			Políticas generales de la empresa	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total	5%	
3.2	Medir el número de horas hombre por trabajos urgentes vrs el número de horas totales de mantenimiento				Procedimientos para solicitar mantenimientos		15%	
3.3	Medir el número de no conformidades y evaluar las causas que las originan				Historial de trabajos urgentes		20%	
3.4	Usar la clasificación hecha en la tarea No.1.1 de este plan de mejoras para la definición de las nuevas normas y políticas	Gerente Todos los directores de procesos			Herramienta ofimática	La sumatoria es igual al 100%	30%	
3.5	Replantear los procedimientos si se considera necesario y definir nuevas normas que rijan su ejecución				Computador			
3.6	Sensibilizar al personal sobre su importancia				Listado de causas que originan las inconformidades			
3.7	Implementar las nuevas normas y procedimientos				Formatos			
3.8	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia de las política y normas nuevas y proponer acciones correctivas o de mejora	Director(a) de Mto.			Capacitación teórico-práctica	30%	# solicitudes bajo procedimiento # total de solicitudes	
					Plan de acción			
					Procedimientos			
					Indicadores de gestión			
					Plan de acción			
					Cinco a seis meses			
4	Los operarios no siempre registran los detalles de sus intervenciones							
	Establecer una metodología para el registro de las intervenciones desde producción							
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento		
			C	M				
4.1	Conocer la finalidad del informe o registro	Director(a) de Mto. Director(a) de Pdn. Director(a) de Calidad			Reunión del persona involucrado	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total	30%	
4.2	Definir la información necesaria				Listado de la información adquirible y requerida			
4.3	Definir si usar el formato de Orden de Trabajo o diseñar un formato adicional para el informe o registro de estas intervenciones de Pdn.					Herramienta ofimática	15%	La sumatoria es igual al 100%
4.4	Redactar el procedimiento respectivo	Supervisor de Pdn.			Computador			
4.5	Establecer un orden para la solicitud y entrega de los informes o registros al personal de mantenimiento	Un operario de Pdn. y un técnico de Mto.			Formatos			
4.6	Sensibilizar y capacitar al personal	Representantes			Orden de trabajo			
4.7	Poner en marcha la metodología				Procedimiento	30%		
					Capacitación teórico-práctica			
4.8	Hacer un seguimiento para evaluar la eficacia de la metodología y proponer acciones correctivas o de mejora	Director(a) de Mto.			Plan de acción	# registros diligenciados # total de registros		
					Formatos			
					Procedimientos			
					Indicadores de gestión			
					Plan de acción			
					Cuatro a cinco meses			

Fuente: elaboración propia

Tabla 50. Plan de mejoras de mantenimiento para el entrenamiento – parte I

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA EL ENTRENAMIENTO								
1	No existe un presupuesto específico para el entrenamiento del personal de mantenimiento							
	Definir un presupuesto para el entrenamiento del personal de mantenimiento							
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento		
			C	M				
1.1	Identificar las áreas en que se necesita un entrenamiento	Personal de Mtto. Gerente técnico			Listado de falencias en conocimiento y especialidades Listado del personal de Mtto. y sus gustos, conocimientos y habilidades	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total	7%	
1.2	Consultar a los empleados en qué área afín les gustaría recibir entrenamiento						5%	
1.3	Definir el personal que debe recibir cada entrenamiento	Personal de Mtto. Gerente técnico					9%	
1.4	Buscar capacitaciones afines a las áreas en que se desea entrenar al personal	Personal de Mtto.			Publicidad, Internet, medios de comunicación, ofertas de proveedores		15%	
1.5	Buscar entidades, empresas o personales profesionales para dictar la capacitación	Personal de Mtto.						
1.6	Cotizar y negociar el valor de las capacitaciones, consultar las fechas y las formas de pago	Director(a) de Mtto.			Listado de funciones Listado de personal Plan de reemplazos		7%	
1.7	Planear los reemplazos y delegación de funciones mientras el personal se ausenta para el entrenamiento	Personal de Mtto.					11%	
1.8	Elaborar el presupuesto de entrenamiento, definiendo el nombre del curso y contenido general, el personal que lo recibirá, a cargo de quién es, la ubicación, horas y fechas, el valor unitario y total, el contenido, si incluye diploma, certificado, memorias, etc., la fecha y forma de pago, los resultados esperados, la aplicabilidad y el plan de reemplazo y delegación.	Director(a) de Mtto.			Cotizaciones y programaciones de los cursos Computador Herramienta ofimática Candidatos al entrenamiento 45 días aprox.	La sumatoria es igual al 100%	26%	
1.9	Presentar el presupuesto de entrenamiento al gerente técnico y administrativo para su aprobación	Director(a) de Mtto. Gerentes técnico Gerente administrativo			Presupuesto Video Beam Computador Plan de reemplazos			12%
1.10	Programar una reunión para estudiar el presupuesto y hacer los ajustes necesarios							
1.11	Poner en marcha el entrenamiento	Personal de Mtto.			Personal		8%	
1.12	Hacer un seguimiento para evaluar la efectividad del entrenamiento y proponer acciones correctivas, preventivas o de mejora	Director(a) de Mtto. Gerentes			Metodología Indicadores Plan de acción	Logros alcanzados Logros esperados		

Fuente: elaboración propia

Tabla 51. Plan de mejoras de mantenimiento para el entrenamiento – parte II

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA EL ENTRENAMIENTO							
2	No muy amenudo la empresa porgrama capacitaciones internas al personal de mantenimiento						
	Programar mayor número de capacitaciones en áreas afines al personal de mantenimiento						
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento	
			C	M			
2.1	Reconocer los conocimientos que tengan otros empleados que se puedan y quieran transmitir a los empleados de mantenimiento	Todos los empleados			Hojas de vida Displomas o certificados Listado maestro	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total La sumatoria es igual al 100%	10%
2.2	Proponer a todos los empleados que investiguen acerca de un tema a fin a la empresa y lo expongan ante los demás empleados, para fomentar la investigación y entrenamiento en todo el personal	Gerencia Directores de procesos			Publicidad, Internet, medios de comunicación, ofertas de proveedores		12%
2.3	Hacer un listado de las posibles capacitaciones, los encargados de éstas y el personal a quien van dirigidas	Directores de procesos			Datos de las tareas 2.1 y 2.2		9%
2.4	Hacer un plan de entrenamiento interno, especificando el tema, el encargado, los recursos necesarios, el personal al que va	Personal de producción y mantenimiento			Computador Herramienta ofimática		23%
2.5	Presentar y exponer el plan a la gerencia y directores para su aprobación	Directores de procesos			Sala de reuniones Presupuesto Programación Personal		8%
2.5	Hacer los ajustes necesarios en el plan						6%
2.6	Poner en marcha el entrenamiento	Todos los empleados					18%
2.7	Definir métodos para medir la eficacia de lo que se entrena, por ejemplo, conversatorios, exposiciones, evaluaciones teórico-prácticas, dinámicas, etc.	Gerencia Directores de procesos			Plan de evaluación Objetivos Logros esperados Contenido de la capacitación		14%
2.8	Hacer un seguimiento para evaluar la efectividad del entrenamiento y proponer acciones correctivas, preventivas o de mejora	Gerencia Directores de procesos			Metodología Indicadores Plan de acción	<u>Logros alcanzados</u> <u>Logros esperados</u>	

Fuente: elaboración propia

Tabla 52. Plan de mejoras de mantenimiento para el estudio y la eliminación de las fallas y su causa raíz

PLAN DE MEJORAS DE MANTENIMIENTO PARA EL ESTUDIO Y LA ELIMINACIÓN DE LAS FALLAS Y SU CAUSA RAÍZ									
1	No se implementa el análisis de fallas, el <i>RCFA</i> , el <i>FMECA</i> y el <i>RPN</i> .								
	Implementar el análisis de fallas, el <i>RCFA</i> , el <i>FMECA</i> y el <i>RPN</i> .								
No. Tarea	Tareas de mejora	Personal involucrado	Plazo		Recursos necesarios	Método de evaluación o seguimiento			
			C	M					
1.1	Formar un grupo de trabajo	Personal de Mtto.			Listado maestro de equipos	Base para las demás tareas	33%		
1.2	Definir los objetivos y metas para cada uno	Director(a) de Pdn.					33%		
1.3	Identificar los equipos a los que se les van a aplicar las metodologías, métodos y	Supervisor de Pdn.					34%		
1.4	Planear la implementación de la metodología de análisis de fallas	Operario representante Ingeniero de diseño				Espacio de trabajo	Su cumplimiento establece el	11%	
1.5	Ejecutar el plan de implementación	Grupo de trabajo			x% de avance sobre el total		30%		
1.6	Recopilar datos y programar reuniones periódicas para la revisión	Personal de Mtto.			Recursos económicos	La sumatoria es igual al 100%	20%		
1.7	Presentar y evaluar los resultados	Director(a) de Pdn.					16%		
1.8	Proponer acciones correctivas, preventivas o de mejora en base a los resultados	Experto en el tema			Personal de trabajo		13%		
1.9	Publicar los resultados y logros alcanzados	Personal de Mtto.			Entrenamientos		10%		
1.10	Planear la implementación del método <i>RCFA</i> (Análisis de la causa raíz de las fallas)	Personal de Pdn.			Referencias bibliográficas	Su cumplimiento establece el x% de avance sobre el total	11%		
1.11	Ejecutar el plan de implementación	Experto en el tema			Herramientas ofimáticas		30%		
1.12	Recopilar datos y programar reuniones periódicas para la revisión	Ingeniero de diseño			Video Beam		20%		
1.13	Presentar y evaluar los resultados	Grupo de trabajo			Computadores		16%		
1.12	Proponer acciones correctivas, preventivas o de mejora en base a los resultados	Personal de Mtto.				13%			
1.13	Publicar los resultados y logros alcanzados	Personal de Pdn.			Documentación como formatos, registros, especificaciones	La sumatoria es igual al 100%	10%		
1.14	Planear la implementación del procedimiento <i>FMECA</i> (Análisis de los modos, efectos y criticidad de las fallas)	Experto en el tema					Hojas de vida de equipos	Su cumplimiento establece el	11%
1.15	Ejecutar el plan de implementación	Ingeniero de diseño						x% de avance sobre el total	30%
1.16	Recopilar datos y programar reuniones periódicas para la revisión	Grupo de trabajo					Dieciocho meses aprox.	x% de avance sobre el total	20%
1.17	Presentar y evaluar los resultados	Personal de Mtto.			16%				
1.18	Proponer acciones correctivas, preventivas o de mejora en base a los resultados	Director(a) de Pdn.			Planes de acción	La sumatoria es igual al 100%	13%		
1.19	Publicar los resultados y logros alcanzados	Experto en el tema					10%		
1.20	Planear la implementación del <i>RPN</i> (Grado numérico de severidad)	Personal de Pdn.			Resultados	Su cumplimiento establece el	11%		
1.21	Ejecutar el plan de implementación	Ingeniero de diseño					x% de avance sobre el total	30%	
1.22	Recopilar datos y programar reuniones periódicas para la revisión	Grupo de trabajo			Historiales	x% de avance sobre el total	20%		
1.23	Presentar y evaluar los resultados	Personal de Mtto.					16%		
1.24	Proponer acciones correctivas, preventivas o de mejora en base a los resultados	Director(a) de Pdn.			Indicadores de gestión	La sumatoria es igual al 100%	13%		
1.25	Publicar los resultados y logros alcanzados	Experto en el tema					10%		
1.26	Definir planes de implementación permanente y para nuevos equipos	Personal de Mtto.			Índices	% de reducción de las fallas	13%		
		Personal de Pdn.					10%		

Fuente: elaboración propia

11. CONCLUSIONES

- Se creó un plan de mejoras de mantenimiento para una empresa del sector de materiales compuestos mediante la evaluación del estado actual de la operación y gestión del mantenimiento con respecto a los principales fundamentos técnicos, pero no se lleva a cabo su implementación.
- Se crearon cinco (5) planes de mejora de mantenimiento, uno para cada asunto de potencial importancia. El 100% de su implementación le representaría a la empresa un avance del 26% en la operación y gestión del mantenimiento.
- Se diagnosticó la situación general del proceso de mantenimiento en la empresa por medio de la identificación de los principales fundamentos de mantenimiento, a partir de diferentes referencias bibliográficas.
- El entendimiento y seguimiento del enfoque sistémico kantiano facilita la estructuración, la planeación, ejecución, revisión y el control del proceso de mantenimiento en la empresa.
- Los principales fundamentos son sólo una pequeña parte del mundo del mantenimiento, por lo cual, la empresa debe profundizar en la búsqueda de más información que le permita llevar a cabo la gestión integral.
- Se realizó una revisión exhaustiva de los distintos aspectos de la operación y gestión del mantenimiento en la empresa a través de la comparación evaluativa del nivel de desarrollo e implementación de los principales fundamentos de mantenimiento como se desarrolló en el capítulo seis.
- La metodología de la revisión exhaustiva desarrollada facilitó la evaluación, además que permitió comparar directamente, como se observa en la tabla de resumen, los aspectos del mantenimiento en la empresa.

- La implementación de la metodología inglesa *Flash Audit* permitió evaluar cuantitativamente el estado del mantenimiento en la empresa y constituye una auditoría base para la certificación ISO 9000 que busca la empresa.
- La metodología *Flash Audit* no tiene en cuenta dos aspectos fundamentales en el mantenimiento, por un lado, el análisis de fallas y causa raíz de las fallas, y por otro lado, las tácticas de mantenimiento. Se recomienda a la empresa que complemente siempre las auditorías rápidas con estos dos aspectos.
- El reconocimiento y análisis de los asuntos de potencial importancia permitieron la creación adecuada del plan de mejoras, enfocando los esfuerzos a resolver estos asuntos de mayor criticidad en cuanto a la operación y la gestión.
- La estructura de costos permite a la empresa precisar lo que cuesta la función de mantenimiento por equipo, tipo de trabajo y de mantenimiento, la mano de obra propia y la subcontratación, los repuestos e insumos, las fallas, entre otros rubros.
- El conocimiento de los costos de mantenimiento facilita a los gerentes y al personal de mantenimiento tomar decisiones respecto a la operación y a la gestión, además de ajustar los presupuestos de este proceso de acuerdo a los informes que se obtengan de la contabilidad en cada período.
- Los resultados de la relación entre mantenimiento y producción muestran que no hay una línea de comunicación bien definida y esto ha dado paso a confusiones y a actuaciones erradas.
- Los resultados del análisis del elemento entrenamiento en mantenimiento determinan que la empresa no ha destinado el presupuesto y el tiempo necesario en capacitaciones técnicas para los empleados, donde se fortalezcan y generen conocimientos, además de motivación. Resulta importante, también, el entrenamiento en herramientas ofimáticas y en el idioma inglés para el manejo de determinada documentación.

- El proceso de mantenimiento tiene muy claro cómo debe trabajar y cuál es su enfoque, sabe con qué herramientas cuenta y que tiene falencias que debe mejorar.
- La empresa tiene plenas capacidades para llevar a cabo la implementación del plan de mejoras de mantenimiento desarrollado, requiere de un buen plan de acción y del apoyo de los demás procesos y principalmente de producción y gerencia.
- El proceso de mantenimiento se encuentra en una etapa de desarrollo e implementación de los instrumentos de mantenimiento y de las acciones correctivas, modificativas y preventivas. A nivel estratégico y de gestión integral aún no se tienen nada establecido.

12. RECOMENDACIONES

- El proceso de mantenimiento debe trabajar fuertemente en la creación de planes de mantenimiento preventivo para todos sus equipos críticos, que igualmente debe identificar; estableciendo rutinas de inspección, lubricación y ajuste constantes.
- La necesidad del CMMS es inminente porque se lograría gestionar y administrar eficazmente el mantenimiento, por lo tanto, la empresa debe agilizar su desarrollo y puesta en marcha; es fundamental tener claro que éste debe adaptarse a la empresa, y no la empresa a éste.
- La empresa debe comenzar la implementación de las 5's en su planta de producción, taller y almacén porque se observan muchos elementos innecesarios y mal ubicados que confunden al personal y generan desorden. La iniciativa y el trabajo deben ser en equipo para que funcione correctamente el método. Esto les permitirá mantener la herramienta e insumos más organizados y por consiguiente ubicar más fácilmente los elementos de trabajo.
- Se debe considerar la contratación de un supervisor de mantenimiento a corto-mediano plazo para que la directora de mantenimiento pueda concentrarse más en las actividades de gestión y no de operación.
- Las preguntas de la metodología *Flash Audit* deben hacerse a doce personas diferentes, cuatro por categoría, para obtener resultados más confiables y reales. En una próxima implementación, se recomienda auditar a personas relacionadas con el área administrativa para la categoría de gerencia.

13. BIBLIOGRAFIA

A. C. (2006). *Aiteco*. Recuperado el 15 de 04 de 2010, de <http://www.aiteco.com/indicador.htm>

Aristizábal Salazar, M. N., Sánchez, M., & Ramírez, P. (Agosto de 2005). *huitoto.udea.edu.co/vicedoce/calidad/.../Guia_plan_de_mejoras.doc*. Obtenido de huitoto.udea.edu.co/vicedoce/calidad/.../Guia_plan_de_mejoras.doc

Barbosa, O. (2001). *Los indicadores de gestión y su contexto*.

Cardona Gómez, C. A. (2006). *Mantenimiento preventivo industrial* (tercera ed.). Cali, Colombia.

Dounce Villanueva, E. (2006). *La productividad en el mantenimiento industrial* (Vol. Sexta reimpresión). México, México: Compañía Editorial Continental.

Gude@, D. -P.-P. (1998). *CiteSeer X Beta - Condition-based Preventive Maintenance* . Recuperado el 18 de Diciembre de 2008, de Preventive maintenance strategies of semi-autonomous work groups in flexible manufacturing - Abstract: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.29.1104>

ITCL. (2010). *Manuales Pdf*. Recuperado el 28 de 03 de 2010, de (<http://gestionemprendedora.files.wordpress.com/2007/09/5s.pdf>.)

Kelly, A., & Harris, M. J. (1998). *Gestión del Mantenimiento Industrial*. (S. Gráficas Mar-Car, Ed.) Madrid, España: Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar – Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo.

Klusman, R. A. (1995). *Establishing Proactive Maintenance Management – Review Journal - Water / Engineering & Management*. USA.

Knezevic, J. (1996). *Mantenibilidad*. Madrid, Provincia de Madrid, España: Editorial ISDEFE.

López Carrizosa, F. J. (2006). *ISO 9000 y la planificación de la calidad*. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Mofsoovich, M. (1992). Máquinas y Equipos. *000* (0387), 114 - 115.

Mora, L. A. (2007b). *Mantenimiento Estratégico Empresarial* (Primera ed.). Medellín, Antioquia, Colombia: Fondo Editorial FONEFIT.

Mora, L. A. (2008). *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Medellín: COLDI LTDA.

Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento: Planeación, ejecución y control*. Medellín: Alfaomega Colombia S.A.

Mora, L. A. (2007c). *Pronósticos de demanda e Inventarios - Métodos Futurísticos*. (U. Ediciones, Ed.) Medellín: AMG.

Moubray, J. M. (2004). *RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc* (Primera en castellano ed.). (G. a. Biddles Limited, Ed., & S. y.-A. Ellman, Trad.) Leicestershire, United Kingdom: Aladon Limited.

Navarro. (1997). *Gestión integral de mantenimiento*. (M. B. Editores, Ed.) Barcelona, Comunidad de Catalunya, España: Marcombo Boixareu Editores.

Navarro, L. -E., Pastor, A. C.-T., & Mugaburu, J. M.-L. (1997). *Gestión integral de mantenimiento*. (M. B. Editores, Ed.) Barcelona, Comunidad de Catalunya, España: Marcombo Boixareu Editores.

Oiltech. (1995). Mantenimiento Proactivo de sistemas mecánicos lubricados - Oiltech Analysis S.L. *Flúidos, oleohidráulica, neumática y automación* , 24 (208 y 209), 361-362.

Patton, J. D. (1995). *Preventive Maintenance –The International Society for Measurement and Control - Instrument Society of America* (Vol. Second Edition). Estados Unidos.

Pinilla, P. (03 de Agosto de 2009). Sistemas de información. *Sistemas de información* . Medellín.

Pino@, L. (2007). *Monografias*. Recuperado el 11 de 09 de 2009, de Monografias: <http://www.monografias.com/trabajos61/materiales-compuestos-aluminio/materiales-compuestos-aluminio.shtml>

Portafolio digital co. (2010). Recuperado el 07 de febrero de 2010, de <http://portafoliodigitalco.bligoo.com/content/view/322725/Glosario.html>)

Portafolio. (16 de Febrero de 2009). *Portafolio*. Recuperado el 17 de Marzo de 2009, de <http://www.portafolio.com.co>

Reiter, W., & Lorick, H. C. (1994). Retrospective: A country's experience with maintenance management. *Review Public Woks* , págs. 66-67.

Rengifo, S., & Valencia, A. M. (2009). Simulación del comportamiento futuro de los indicadores CM y costos de mantenimiento en un caso industrial. Medellín, Colombia.

Rey, S. F. (1996). *Hacia la excelencia en Mantenimiento*. (S. Tgp Hoshin, Ed.) Madrid, Comunidad de Madrid, España: Tgp Hoshin, S.L.

Riascos Erazo, S. C. (Mayo/Agosto de 2008). *Modelo para la evaluación de la efectividad de la tecnología informática en el entorno empresarial*. Obtenido de Scielo : <<http://www.scielo.org.co/sci>; Riascos Erazo, Sandra Cristina;

Saldarriaga, J. D., & Botero, A. F. (2001). Diseño y desarrollo de un modelo de auditoría a la gestión a un departamento de mantenimiento. Medellín.

Sexto@, L. F. (16 de 12 de 2006). *Clase mundial, excelencia y mejora continua*. Recuperado el 21 de 09 de 2009, de <http://luisfelipeseixo.blogia.com/>

Souris, J. P. (1992). El mantenimiento, fuente de beneficios. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.

Taco Villalba, L., & Cella Andagoya, R. (2000). *MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)*.

The improvement Encyclopedia. (2002-2010). Recuperado el 02 de 03 de 2010, de (<http://syque.com/improvement/TQC.htm>)

14. ANEXOS

Anexo A. Resumen mensual de los costos de mantenimiento

RESUMEN MENSUAL DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO																				
Actividad / Acción / Concepto Código equipo		Actividades mecánicas									Actividades eléctricas									Costo total por equipo
		Acción correctiva			Acción modificativa			Acción proactiva			Acción correctiva			Acción modificativa			Acción proactiva			
		MO	RP	MT	MO	RP	MT	MO	RP	MT	MO	RP	MT	MO	RP	MT	MO	RP	MT	
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0
																				\$ 0

Para cada tipo de actividad (mecánica, eléctrica, instrumentación e infraestructura) se puede conocer:

¿cuánto es el costo total de la mano de obra por acciones correctivas?
 ¿cuánto es el costo total de los repuestos por acciones correctivas?
 ¿cuánto es el costo total de los materiales por acciones correctivas?
 ¿cuánto es el costo total de la mano de obra por acciones modificativas?
 ¿cuánto es el costo total de los repuestos por acciones modificativas?
 ¿cuánto es el costo total de los materiales por acciones modificativas?
 ¿cuánto es el costo total de la mano de obra por acciones proactivas?
 ¿cuánto es el costo total de los repuestos por acciones proactivas?
 ¿cuánto es el costo total de los materiales por acciones proactivas?

Fuente: elaboración propia

Anexo B. Medición de la criticidad de los equipos

CRITICIDAD EN LA PRODUCCIÓN					
Aspecto a evaluar	Puntuación	1	2	4	5
Tasa de marcha o utilización del equipo					
1. Mayor al 80%					
2. Entre 50% y 80%					
3. Menor al 50%					
Instalación duplicada o auxiliar similar					
1. Sin posibilidad					
2. Recurso otra fábrica					
3. Recurso stock					
4. Equipo duplicado					
Influencia en el resto de la cadena o instalación					
1. Sobre toda la cadena					
2. Influencia importante					
3. Influencia relativa					
4. Paro del equipo					

CRITICIDAD EN MANTENIMIENTO					
Aspecto a evaluar	Puntuación	1	2	4	5
Costo de mensual de mantenimiento					
1. Mayor a 500.000 COP					
2. Entre 300.000 y 500.000 COP					
3. Menor a 300.000 COP					
Número de horas de paro por fallo al mes					
1. Mayor a 3 horas					
2. Entre 1 y 3 horas					
3. Menor a 1 hora					
Grado de especialización del equipo					
1. Especialista					
2. Normal					
3. Sin especialidad					

CRITICIDAD EN LA CALIDAD					
Aspecto a evaluar	Puntuación	1	2	4	5
Pérdidas mensuales de producto por baja calidad debido a fallas en el equipo					
1. Mayor al 50% de la producción mensual					
2. Entre 30% y 50% de la producción mensual					
3. Menor al 30% de la producción mensual					
Influencia del equipo en la calidad final del producto					
1. Decisiva					
2. Importante					
3. Sensible					
4. Semínula o nula					

CRITICIDAD EN LA SEGURIDAD Y/O MEDIO AMBIENTE					
Aspecto a evaluar	Puntuación	1	2	4	5
Influencia del equipo sobre la seguridad y/o el medio ambiente					
1. Riesgo mortal					
2. Riesgo para la persona e instalación					
3. Influencia relativa					
4. Sin influencia					

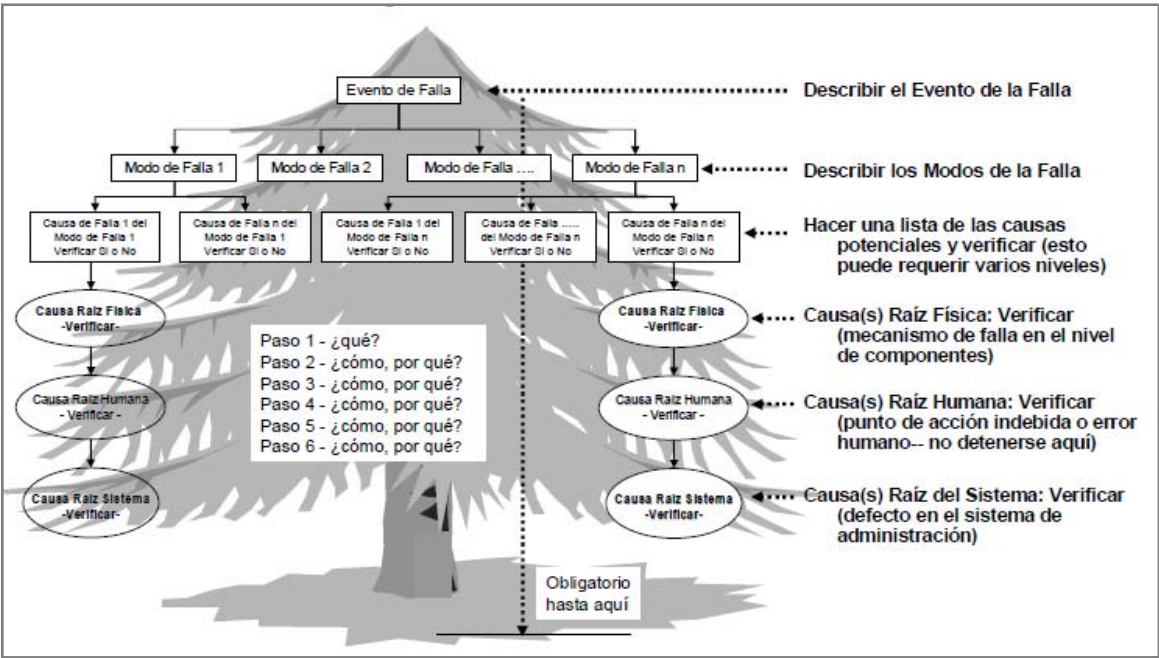
Niveles de criticidad	Para cada equipo, si la sumatoria de los puntajes es mayor a 30 puntos, este se considera de criticidad alta.	CA
	Para cada equipo, si la sumatoria de los puntajes está entre 10 y 30 puntos, este se considera de criticidad media.	CM
	Para cada equipo, si la sumatoria de los puntajes es menor a 10 puntos, este se considera de criticidad baja.	CB

Fuente: (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997)

Anexo C. Clasificación ABC de inventarios

CLASIFICACIÓN ABC DE INVENTARIOS													
Item No.	Referencia de repuesto	Valor unitario de referencia	Cantidad monetaria promedio demanda anual	Cantidad monetaria promedio demanda anual acumulada	X - Porcentaje acumulado de artículos	Porcentaje individual de demanda anual	Y - Porcentaje individual de demanda anual	A - Apoyo logístico actual = $X^2(1-Y)(Y-X)$	Nuevo Y para A $Y=X^2(1+A)(A+X)$	Clasificación ABC con nuevo A y Y	Nuevo porcentaje individual de demanda anual	Nueva demanda anual por referencia en unidades monetarias con nuevo A y Y	Nueva demanda acumulada anual en unidades monetarias con nuevo A y Y
1													
2													
3													
4													
5													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													

Anexo D. Árbol de lógica metodología RCFA



Anexo E. Registro de fallas y modos de fallas

FALLAS Y MODOS DE FALLAS								
FUNCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN	ITEM FALLA FUNCIONAL	CÓDIGO DE FALLA FUNCIONAL	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA FUNCIONAL	ITEM DEL MODO DE FALLA	CÓDIGO DEL MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA

Fuente: (Mora, 2009)

Anexo F. Formato para la medición de tiempos para trabajos de mantenimiento

MEDICIÓN DE TIEMPOS PARA TRABAJOS DE MANTENIMIENTO		Código:																																													
		Versión:																																													
		Vigente desde:																																													
Equipo:			Código:																																												
Trabajo:																																															
Número de hombres que intervienen:		Ejecutor principal	Ejecutor ayudante																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Actividades</th> <th rowspan="2">Tiempo [minutos]</th> </tr> <tr> <th>Paso No.</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2">Número total de pasos</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tiempo Sub total</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Coeficientes de fatiga y otros [%]</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tiempo total</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>				Actividades		Tiempo [minutos]	Paso No.	Descripción	1			2			3			4			5			6			7			8			9			Número total de pasos			Tiempo Sub total		0	Coeficientes de fatiga y otros [%]			Tiempo total		0
Actividades		Tiempo [minutos]																																													
Paso No.	Descripción																																														
1																																															
2																																															
3																																															
4																																															
5																																															
6																																															
7																																															
8																																															
9																																															
Número total de pasos																																															
Tiempo Sub total		0																																													
Coeficientes de fatiga y otros [%]																																															
Tiempo total		0																																													

Anexo G. Formato para el inventario documental de mantenimiento

INVENTARIO DOCUMENTAL DE MANTENIMIENTO														
NOMBRE DEL LIBRO														
No.	CÓDIGO DEL EQUIPO													
	CÓDIGO Y NOMBRE DEL DOCUMENTO													
1														
2														
3														
4														

Fuente: elaboración propia